



João **Protocolo de recolha e processamento de**
Magarreiro **dados 3D cinemáticos e cinéticos da**
marcha em regime laboratorial e
ambulatório

Dissertação submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Mestre em**
Engenharia Biomédica - Desporto e
Reabilitação

Júri

Presidente (Doutora, Maria Helena de Figueiredo Ramos Caria, ESS/IPS)

Orientador (Doutor, Ricardo da Costa Branco Ribeiro Matias, ESS/IPS)

Vogal (Doutora, Paula Luísa Carvalho Goulão Capelo Silva, ESTSetúbal/IPS)

Vogal (Doutor, Tito Gerardo Batoreo Amaral, ESTSetúbal/IPS)

Março de 2015



Protocolo de recolha e processamento de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha em regime laboratorial e ambulatório

**Dissertação de Mestrado em
Engenharia Biomédica – Desporto e Reabilitação**

João Magarreiro nº120289014

Trabalho orientado por: Professor Doutor Ricardo Matias

Setúbal

2013/2014

Agradecimentos

É com enorme alegria e satisfação que apresento publicamente um agradecimento sentido e sincero a todas as pessoas que cooperaram de forma direta ou indireta para a realização deste estágio de investigação.

Em primeiro lugar agradeço ao corpo docente do Mestrado em Engenharia Biomédica – Desporto e Reabilitação do Instituto Politécnico de Setúbal (IPS), pelas excelentes condições que me ofereceram ao longo destes dois anos de mestrado, permitindo-me adquirir e obter conhecimentos necessários e aptidões essenciais para o desenvolvimento do meu percurso académico.

Em segundo lugar um especial agradecimento ao Professor Doutor Ricardo Matias pelo convite endereçado para a realização deste estágio de investigação no Laboratório de Movimento Humano da Escola Superior de Saúde, o qual se encontra bastante bem munido com os equipamentos mais robustos na área da análise do movimento humano.

De forma particular gostaria de exprimir um agradecimento especial ao Professor Doutor Ricardo Matias e ao Fisioterapeuta Rodrigo Martins pela enorme disponibilidade demonstrada ao longo deste estágio de investigação, pela partilha de saber e conhecimento acerca desta área, pelo facto de se mostrarem sempre preocupados em acompanhar o progresso do trabalho realizado, pelo esclarecimento de dúvidas e pela paciência e dedicação empregues ao longo destes meses.

Agradeço à Joana Rosa por toda a ajuda concedida, no laboratório, ao longo deste estágio, pela sua forte camaradagem, amizade, pelo facto de ter acompanhado o meu trabalho de perto e pelo apoio nas dificuldades sentidas ao longo deste estágio.

Um agradecimento especial também a todas as minhas amigas e colegas de mestrado e às amigas da Licenciatura em Engenharia Biomédica da Escola Superior de Tecnologia de Setúbal com quem tive a honra de partilhar esta aventura e com as quais tive o privilégio de contar com a sua forte amizade e com os seus momentos de alegria e fantástica boa-disposição que me ajudaram a ultrapassar obstáculos e dificuldades sentidas ao longo deste estágio.

A todos os meus amigos da Residência de Estudantes de Santiago que fiz ao longo desta vida académica em Setúbal e que de certeza permanecerão para sempre na minha vida. Um agradecimento especial pela sua alegria, pela sua boa disposição e pela sua grande amizade.

A todos os meus amigos de sempre, agradeço a sua enorme amizade, por estarem presentes nos bons e nos maus momentos, pela preocupação demonstrada, pelas palavras confortantes e pela força prestada nas etapas mais importantes da minha vida.

A toda a minha família, pela confiança depositada, pela motivação demonstrada e por nunca deixarem de acreditar nas minhas capacidades.

Um enorme e especial agradecimento aos meus pais por serem as pessoas fantásticas e maravilhosas que são, pelo apoio evidenciado a cada instante, pela motivação dada a cada momento, pelos conselhos transmitidos, pelo esforço que fizeram para que pudesse alcançar mais um sonho, pois sem eles teria sido impossível, pelo companheirismo e amor incondicional oferecido ao longo de toda a minha vida. A estas duas pessoas incríveis o meu muito Obrigado.

Um agradecimento especial à Rita, pelo apoio prestado a cada instante da escrita deste relatório, pela compreensão, pela paciência, pela força, pelas palavras de motivação e de incentivo, por ter sempre acreditado em mim, pelo seu carinho, pelo seu amor e por ser uma pessoa tão especial.

Resumo

Este trabalho tem como objetivo a realização da compilação de um protocolo de recolha e processamento de dados tridimensionais (3D) cinemáticos e cinéticos da marcha em regime laboratorial e ambulatorio, intrínseco ao Laboratório de Movimento Humano da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal e a apresentação desse documento, numa plataforma Wiki, que permitisse a sua visualização, edição e atualização por parte dos utilizadores do laboratório.

Através da plataforma Wiki, cada utilizador do laboratório terá acesso à sua conta, onde pode visualizar a informação desejada, editar o conteúdo das páginas e documentos já existentes, sempre que for essencial e ainda carregar imagens, ficheiros multimédia e documentos científicos de apoio, de diversos formatos. Esta plataforma de escrita colaborativa *online* permite ainda que os utilizadores possam realizar, entre si, de forma dinâmica e colaborativa a conceção de páginas e de seções com conteúdo informativo partilhado sobre determinada área do movimento humano, resultando assim na criação de linhas de apoio à curva de aprendizagem dos novos utilizadores do laboratório.

Para a elaboração desta compilação do protocolo, baseamo-nos em diversos protocolos já existentes, manuais de utilizadores e documentos específicos disponibilizados pelos diversos fabricantes, que comercializam os equipamentos de análise do movimento humano presentes no laboratório, fazendo com que dessa compilação resultasse um protocolo com todas as etapas da fase de recolha e processamento de dados da marcha de utilização exclusiva para os utilizadores do Laboratório.

À medida da elaboração da compilação do protocolo de recolha e processamento de dados da marcha, presente na plataforma Wiki do laboratório, o mesmo era atualizado, editado e enriquecido com base no *feedback* por parte do corpo docente e por parte dos estudantes presentes no laboratório durante o decorrer deste estágio de investigação.

PALAVRAS-CHAVE: Análise da marcha, Cinemática 3D, Cinética 3D, Protocolo, Plataforma Wiki

Abstract

The aim of this study is to contribute to the compilation of a protocol for collecting and processing 3D kinematic and kinetic data in laboratory and ambulatory environments. Additionally, all procedures were integrated in a wiki platform to allow the viewing, editing and updating of the document by laboratory users.

Through the Wiki platform, each laboratory user will have access to an account where he can view the desired information, edit the content of existing pages and documents, when it is essential and also upload images, multimedia files and scientific support documents, in various formats. This *online* collaborative writing platform also allows users to dynamically develop, in cooperation, the creation of pages and sections with shared information content on a particular area of human movement, thus resulting in the creation of lines of support for the learning process of new users of the laboratory.

To produce this compilation of the protocol, we have relied on several existing protocols, user manuals and specific documents provided by various manufacturers, who market analysis equipment of human movement present in the laboratory, making the end result a protocol composed by all stages of phase collection and processing of exclusive use of gait data to users of Laboratory.

Throughout the course of this research stage the gait protocol, present in the laboratory Wiki platform, was being edited, updated and enriched with the feedback given by teachers and students working in the laboratory.

KEYWORDS: Gait analysis, Kinematic 3D, Kinetics 3D, Protocol, Wiki platform

Índice

Agradecimentos	iii
Resumo	v
Abstract	vi
Índice	vii
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tabelas	xiii
Lista de Siglas e Acrónimos	xiv
Capítulo 1.....	1
1. Introdução.....	1
1.1. Enquadramento	1
1.2. Motivação.....	2
1.3. Objetivos	3
1.4. Estrutura	4
Capítulo 2.....	5
2. Revisão da Literatura.....	5
2.1. Biomecânica.....	5
2.2. Marcha Humana	8
2.2.1. Estado da arte da marcha humana.....	9
2.2.2. Ciclo de marcha	12
2.2.3. Parâmetros cinemáticos no ciclo de marcha	16
2.2.4. Parâmetros cinéticos no ciclo de marcha.....	22
2.3. Análise Cinemática	28
2.3.1. Sistema de tecnologia ótica.....	29
2.3.2. Sistema de tecnologia inercial	32

2.3.3.	Acelerómetros	36
2.3.4.	Giroscópios	37
2.3.5.	Magnetómetros	38
2.4.	Análise Cinética	38
2.4.1.	Plataforma de Força	39
2.5.	Fontes de erro instrumental e experimental	41
2.5.1.	Erros instrumentais	42
2.5.2.	Erros referentes ao movimento associado aos tecidos moles	43
2.5.3.	Erros na disposição das marcas e <i>clusters</i> anatómicos	45
Capítulo 3.....		47
3.	Metodologia.....	47
3.1.	Plataforma para compilação dos protocolos	47
3.1.1.	Requisitos Funcionais da Plataforma.....	49
3.1.2.	Análise de outras ferramentas colaborativas	50
3.1.3.	Arquitetura da Plataforma.....	52
3.1.4.	Plataforma MediaWiki.....	53
3.2.	Visualização e Edição dos procedimentos na plataforma	55
3.2.1.	Níveis de Usabilidade	55
3.2.2.	Protocolos compilados.....	56
3.3.	Usabilidade da Plataforma	65
Capítulo 4.....		66
4.	Resultados.....	66
4.1.	Plataforma para apresentação dos protocolos compilados.....	66
4.2.	Protocolos compilados	73
Capítulo 5.....		79
5.	Discussão dos Resultados.....	79

Capítulo 6.....	82
6. Conclusão	82
6.1. Trabalhos Futuros.....	83
6.2. Publicações Científicas	84
Bibliografia	85

Lista de Figuras

Figura 2.1 – Métodos utilizados para a análise biomecânica do movimento humano.....	7
Figura 2.2 – Ilustração da Tabela 4 da obra “De Motu Animalium” por Giovanni Borelli.....	10
Figura 2.3 – Exemplo de várias fotografias do ser humano em movimento da obra “The Human Figure in Motion” por Eadwerd Muybridge.....	11
Figura 2.4 – Ilustração das fases da marcha: Fase de apoio e Fase oscilante de um ciclo de marcha.....	12
Figura 2.5 – Eventos que ocorrem nas fases de apoio e oscilante do ciclo da marcha...	14
Figura 2.6 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar da anca, durante o ciclo de marcha no plano sagital	17
Figura 2.7 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar do joelho, durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	18
Figura 2.8 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar do tornozelo, durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	19
Figura 2.9 – Representação gráfica das velocidades angulares das articulações anca (a), joelho (b) e tornozelo (c), durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	20
Figura 2.10 – Representação gráfica das acelerações angulares das articulações anca (a), joelho (b) e tornozelo (c), durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	21
Figura 2.11 – Representação gráfica dos momentos articulares da anca durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	23
Figura 2.12 – Representação gráfica dos momentos articulares do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	24
Figura 2.13 – Representação gráfica dos momentos articulares do tornozelo durante o ciclo de marcha no plano sagital.....	24
Figura 2.14 – Representação gráfica da potência da anca durante o ciclo de marcha no plano sagital	26

Figura 2.15 – Representação gráfica da potência do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital	27
Figura 2.16 – Representação gráfica da potência do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital	27
Figura 2.17 – Representação gráfica da análise cinemática da marcha. Sendo possível visualizar as várias componentes que a compõem: câmeras vídeo-digitais, computador com <i>software</i> de aquisição de dados e marcas retrorrefletoras colocadas no indivíduo.....	30
Figura 2.18 – <i>Cluster</i> com 4 marcas retrorrefletoras não colineares.	31
Figura 2.19 – Unidade de medição inercial contendo um acelerómetro triaxial, um giroscópio triaxial e um magnetómetro triaxial.....	34
Figura 2.20 – Esquema da fusão dos sensores de forma a se adquirir uma melhor estimativa e uma redução substancial dos erros nos dados angulares.	35
Figura 2.21 – Plataforma de força com o esquema de cada uma das forças obtidas por cada um dos quatro sensores presentes em cada canto da plataforma.....	40
Figura 2.22 – Esquema frequentemente usado para aquisição de dados através de plataformas de força.....	41
Figura 3.1 – Câmera OptiTrack	58
Figura 3.2 – Marcas esféricas de ABS, cobertas com fita refletora, com 15 mm de diâmetro e com 20 mm de diâmetro respetivamente.	59
Figura 3.3 – Xsens – sistema inercial de captura de movimento.....	61
Figura 4.1 – <i>Homepage</i> da página Wiki do Laboratório de Movimento Humano.	67
Figura 4.2 – Documentação Wiki da empresa C-Motion onde estão presentes os tutoriais.	74
Figura 4.3 – Manuais de utilizador disponibilizados pela empresa Bertec.	75
Figura 4.4 – Vídeos tutoriais e manual de utilizador fornecido pela Xsens.	76
Figura 4.5 – Índice do protocolo compilado para o contexto laboratorial constituído por <i>links</i> internos para acesso à informação de cada fase do protocolo.....	77

Figura 4.6 – Índice do protocolo compilado para o contexto ambulatorio constituído por <i>links</i> internos para acesso à informação de cada fase do protocolo.....	78
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 – Valores dos parâmetros relacionados com o tempo e distâncias do ciclo de marcha.....	15
Tabela 3.1 – Algumas extensões e respectivas descrições da plataforma MediaWiki....	55
Tabela 3.2 – Especificações do sensor MTx.....	60

Lista de Siglas e Acrónimos

3D – Tridimensional

PF – Plataformas de força

CM – Ciclo de marcha

SCL – Sistema de Coordenadas Local

SCG – Sistema de Coordenadas Global

FRS – Força de reação do solo

CoP – Centro de Pressão

STA – Artefactos de tecidos moles

Capítulo 1

1. Introdução

Este relatório, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Biomédica – Desporto e Reabilitação, mostra um relato detalhado do período de estágio de investigação curricular realizado no Laboratório de Movimento Humano da Escola Superior de Saúde do Instituto Politécnico de Setúbal no âmbito das unidades curriculares, Estágio/Projeto I e Estágio/Projeto II, presentes no 2º ano letivo do Mestrado em Engenharia Biomédica – Desporto e Reabilitação.

1.1. Enquadramento

Desde o fim do século passado, através da evolução tecnológica, que a escrita colaborativa tem registado um relevante progresso nomeadamente no desenvolvimento de diversas tecnologias de escrita colaborativa, em ambiente *online*, ou seja, disponíveis na internet. O conceito Wiki, desenvolvido por Ward Cunningham, em 2001, consiste numa página de internet onde qualquer pessoa pode visualizar e publicar conteúdos as vezes que desejar. O Wiki é uma das ferramentas de escrita colaborativa *online* mais utilizadas em todo o mundo, tendo ganho grande destaque com o surgimento da enciclopédia *online*, Wikipédia onde os utilizadores da web ao partilhar conteúdos e informação, tornam-se eles próprios autores da enciclopédia. Através desta possibilidade de edição de informação e partilha de conhecimento de forma colaborativa na web, a Wiki torna-se num importante instrumento de apoio a ser utilizado na realização de trabalho colaborativo o que leva a que exista por parte dos utilizadores do Laboratório um grau de importância elevado na sua utilização [1, 56].

O Laboratório de Movimento Humano é um dos laboratórios da ESS-IPS encontrando-se apetrechado com a tecnologia mais robusta na área da análise do movimento humano, seja de vertente desportiva ou de reabilitação, e tem como linhas orientadoras, a investigação referente à análise biomecânica e da função em utentes com

disfunções patológicas, neurológicas ou ainda neuro-músculo-esqueléticas e ainda a investigação referente à análise biomecânica do movimento desportivo e performance do gesto desportivo. O Laboratório, permite ainda o desenvolvimento de estágios de investigação e pós-graduações possibilitando aos utilizadores do laboratório a aquisição de competências e conhecimentos na área da análise do movimento humano e na utilização de equipamentos e recursos que permitam registar resultados que fundamentam as tomadas de decisão e os planos de reabilitação e desportivos empregues.

O Laboratório de Movimento Humano é composto por uma equipa multidisciplinar que inclui docentes do Departamento de Fisioterapia, Fisioterapeutas, Engenheiros Biomédicos, Engenheiros Informáticos e está aberto a novas parcerias e projetos de investigação.

1.2. Motivação

A escrita colaborativa refere-se ao método de trabalho utilizado por diversos autores com conhecimentos, aptidões e competências diversificadas e específicas de cada um, de interagirem entre si para a colaboração e partilha de matéria durante a criação e produção de um documento. A escrita colaborativa é considerada ainda como sendo uma importante ferramenta na vertente educacional e de ensino, uma vez que permite aos seus utilizadores, nestes contextos, o desenvolvimento das suas curvas de aprendizagem e dos conhecimentos adquiridos. Na escrita colaborativa, seja ela de ambiente *online* ou não, cada autor tem autoridade para acrescentar texto, editar conteúdos e eliminar informação. Este instrumento é ainda designado como sendo um bom aliado para a articulação dos objetivos da realização do documento, para a discussão de ideias e ainda para a comunicação imprescindível entre os diversos autores, da elaboração do documento [2].

Hoje em dia em laboratórios de análise do movimento, compostos por equipas multidisciplinares, é de extrema importância a partilha de informação e de conhecimento científico, tornando-se fundamental que esta informação esteja organizada facilitando o seu acesso a todos os membros da equipa. Desta forma é essencial adotar-se uma escrita colaborativa, para que da colaboração de todos os

membros da equipa seja criado um local onde os elementos possam disponibilizar entre si documentos com informação organizada acerca das análises realizadas, sobre informação clínica do utente ou sobre conteúdos de matéria de apoio científico, para visualização, exploração e edição destes documentos sempre que necessário.

Atualmente a internet ocupa um lugar de destaque no nosso quotidiano, seja para uso profissional seja para uso pessoal, sendo bastante fácil o seu acesso bastando para isso possuir um dispositivo (computador, tablet, telemóvel) com ligação à internet. A partilha de conhecimentos e de informação fica facilitada e ao alcance de todos. Através da evolução tecnológica, a escrita colaborativa tem registado um relevante progresso nomeadamente no desenvolvimento de diversas ferramentas de escrita colaborativa, em ambiente *online*, ou seja, disponíveis na internet. Estas ferramentas têm como objetivo permitir a criação de um documento em que todos os utilizadores possam editar texto e acrescentar novos conteúdos. Este documento estará alojado numa destas plataformas digitais, (que por sua vez estarão alocadas num servidor Web), em vez de estar alojado em computador pessoais, permitindo a cada um dos utilizadores presentes na elaboração do documento aceder ao documento as vezes que achar necessário.

As premissas descritas em cima são extremamente importantes uma vez que hoje em dia torna-se fundamental que todos os laboratórios/clínicas de análise do movimento humano incluam nas suas práticas laboratoriais, a existência de: documentos com informação organizada do trabalho efetuado; processos standardizados da recolha, análise e processamento dos dados adquiridos, com o objetivo de atenuar os erros experimentais e laboratoriais; estudos clínicos realizados fidedignamente sendo possível a tomada de decisões bem suportadas e ainda a recolha e sistematização de informação de apoio à investigação.

1.3. Objetivos

Os principais objetivos a alcançar neste trabalho consistiram no desenvolvimento de uma:

- Compilação de um protocolo para recolha e processamento de dados cinemáticos tridimensionais (3D) e cinéticos 3D da marcha;

- Plataforma Wiki para a sistematização dos procedimentos experimentais e laboratoriais.

Os objetivos anteriormente descritos foram operacionalizados através de 5 pontos:

1. Instalação da plataforma Wiki no servidor da ESS-IPS;
2. Levantamento de informação relevante em protocolos, manuais de utilizador e documentos de apoio das marcas que comercializam os equipamentos presentes no Laboratório;
3. Compilação de informação referente às fases de recolha e processamento de dados da marcha em contexto laboratorial e ambulatório;
4. Estandarização dos procedimentos da utilização dos sistemas de recolha de dados e dos *software* correspondentes na recolha e no processamento;
5. Apresentação do resultado da compilação dos protocolos, via plataforma Wiki do Laboratório.

1.4. Estrutura

O presente trabalho encontra-se dividido em 6 capítulos. No capítulo 1 apresenta-se a introdução ao presente trabalho com os objetivos referentes ao período de estágio de investigação curricular. No capítulo 2 irá ser abordada a revisão da literatura onde estarão presentes os conceitos relativos à biomecânica, à marcha humana, à análise cinemática e cinética, aos sistemas utilizados na recolha de dados da marcha e às fontes de erro instrumental e experimental. No capítulo 3 é apresentada a metodologia do trabalho, no capítulo 4 são mostrados os resultados do trabalho realizado enquanto no capítulo 5 é apresentada a discussão dos resultados e por fim no capítulo 6 são descritas as conclusões de todo o trabalho efetuado durante a realização do estágio de investigação.

Capítulo 2

2. Revisão da Literatura

De forma a se entender os termos, noções, matérias empregues e abordadas na compilação dos protocolos, neste capítulo foi necessário compreender a noção de biomecânica, como é que esta pode ser aplicada para o estudo não só da marcha mas como de todo o movimento humano e os métodos que este conceito utiliza para a análise biomecânica. É igualmente necessário e de extrema importância abordar o conceito de marcha humana, expor de que forma é que o ciclo da marcha pode ser definido e revisitar o estado da arte e como este mostra o progressivo interesse na marcha no estudo do movimento humano. Neste capítulo são ainda abordados os sistemas de captura do movimento que foram utilizados para a obtenção dos dados e as fontes de erro instrumental e experimental associados à utilização dos sistemas de análise do movimento humano.

2.1. Biomecânica

A biomecânica pode ser definida como sendo um campo de estudos que junta numa única disciplina um conjunto de matérias de diversas disciplinas como é o caso da biologia, da medicina, da física, da química, da matemática e ainda da engenharia. É ainda possível definir biomecânica como sendo o campo de estudos onde se faz uso dos conhecimentos e dos princípios da mecânica aplicada aos seres vivos. A biomecânica pode ser igualmente definida como o estudo das forças internas e externas, a que o corpo humano está sujeito, e a forma como elas interagem nos movimentos dos seres vivos [3]. Apesar da biomecânica ser a disciplina que se ocupa com os estudos da mecânica do movimento dos sistemas vivos, a mesma não considera a totalidade dos problemas físicos abrangidos, nem abrange todos os fatores intrínsecos ao movimento. De forma resumida o papel da biomecânica deve ser focado no funcionamento mecânico do sistema, órgãos e aparelhos dos seres vivos, na carga mecânica a que estão

sujeitos e os limites desta que podem acarretar lesões e as condições que influenciam a performance [4].

Sendo a biomecânica do movimento humano a ciência que estuda, através da utilização das leis da mecânica, a forma como os sistemas biológicos se comportam no decorrer do movimento, são várias as áreas e os domínios onde os dados referentes ao movimento humano podem ser usados, como por exemplo: a reabilitação, onde se incrementam e desenvolvem avançados equipamentos, como é o caso dos instrumentos de diagnóstico em utentes portadores de algum tipo de movimento patológico, processos e técnicas destinadas à terapia; a medicina desportiva, onde se desenvolvem sistemas e procedimentos com o objetivo de obter o maior rendimento possível por parte do atleta, diagnosticar e avaliar a técnica e a condição física dos movimentos do mesmo no desporto de alta competição; a monitorização; a avaliação dos processos implementados nas terapias; a otimização na conceção de próteses e implantes, e o estudo do comportamento humano em cenários de instabilidade [5, 6].

Devido ao fato da biomecânica estudar os sistemas vivos através da aplicação das leis e princípios da mecânica, abrangendo a estática e a dinâmica, o estudo da biomecânica analisa o movimento humano de forma quantitativa. Esta análise quantitativa é possível através da determinação dos fatores espaço-temporais do movimento como por exemplo a posição e os ângulos dos segmentos e articulações anatómicas tal como as suas velocidades e acelerações [3].

Como se pode observar na figura 2.1, a biomecânica utiliza quatro métodos essenciais para estudar as diferentes formas de movimentos, são eles os seguintes: Cinemática, Cinética, Eletromiografia e Antropometria [3].

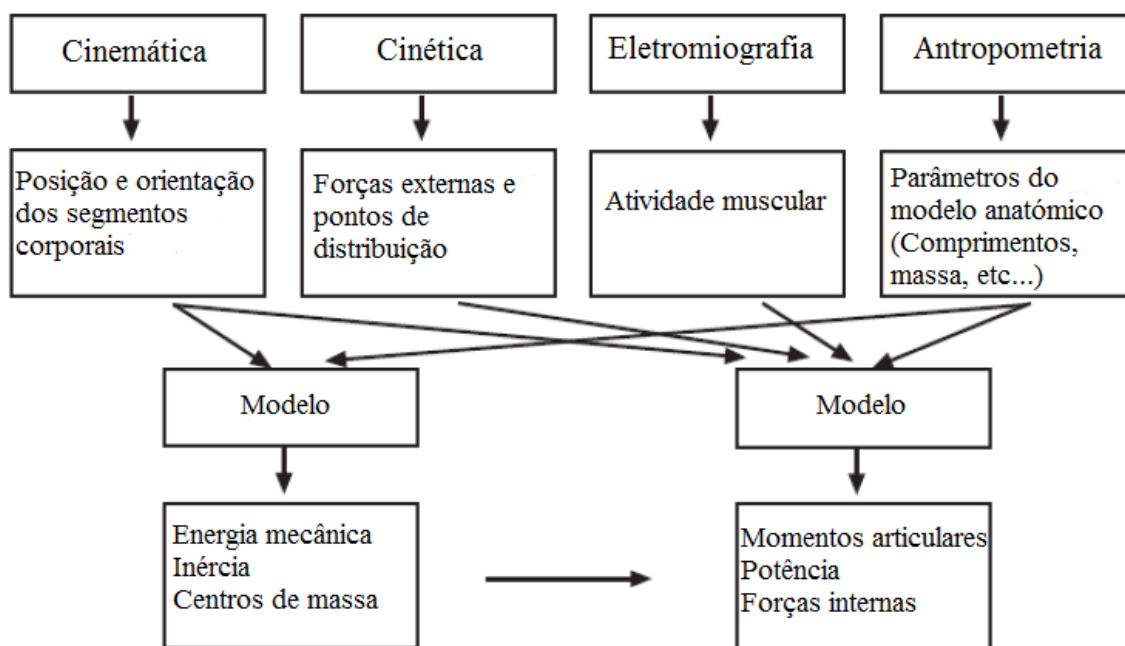


Figura 2.1 – Métodos utilizados para a análise biomecânica do movimento humano (adaptado de [8]).

O estudo biomecânico do ciclo de marcha relaciona-se com as diversas variáveis (cinemáticas, cinéticas, antropométricas e neuromusculares) possibilitando, com base nas forças externas, na atividade dos músculos, na direção e posição dos segmentos anatómicos e ainda nos parâmetros corporais, o cálculo dos momentos articulares e das forças, tal como da inércia e da energia compreendidas nas estruturas músculo-esqueléticas. As variáveis descritas podem ser obtidas por meio de equipamentos e métodos laboratoriais desenvolvidos tendo como finalidade o estudo preciso e rigoroso do ciclo de marcha [7].

Estes métodos, esquematizados na figura 2.1, podem ser utilizados isoladamente ou em conjunto, dependendo do objetivo do estudo, através de sistemas de tecnologia avançada que permitem a obtenção de dados de forma simultânea. Dentro destes métodos os dados antropométricos são usados, por exemplo, como componentes de relevo na construção de modelos antropométricos a serem usados pela cinemática de forma a permitir o cálculo de variáveis cinemáticas como é o caso dos ângulos articulares, acelerações angulares e velocidades angulares. Por sua vez, os dados eletromiográficos, resultantes da medição e registo dos sinais elétricos dos músculos, são utilizados como componentes fundamentais para o estudo da atividade muscular de forma a possibilitar o conhecimento da atividade dos músculos relevante para o

conhecimento da dinâmica das articulações. O método cinético é outro método que possibilita a análise do movimento humano, possibilitando a aquisição de dados, relativos às forças geradas ao longo da marcha tal como as distribuições das pressões plantares [3, 8, 9].

É através destes métodos de medição que se consegue proceder à descrição e modelação matemática do movimento possibilitando uma melhor percepção dos procedimentos presentes no movimento dos seres vivos [3, 8].

2.2. Marcha Humana

A marcha humana tem sido o padrão de movimento que mais interesse tem despertado na comunidade científica tendo sido alvo, até á atualidade, de diversos estudos e pesquisas que permitem que se tenha uma melhor perceção acerca de como os seres humanos se deslocam [10, 7].

A marcha humana pode ser definida como o resultado obtido através da junção das capacidades de locomoção e de equilíbrio. Enquanto a locomoção é essencial para a execução da marcha uma vez que possibilita a orientação permanente dos movimentos, o equilíbrio é indispensável para preservar uma postura direita. Além das duas capacidades fundamentais que originam a marcha, o equilíbrio e a locomoção, os outros fatores que também estão presentes no processo da marcha são os seguintes: o sistema músculo-esquelético, o tónus muscular, os sistemas sensoriais, o sistema vestibular e o sistema sensório-motor [7].

O comprimento do passo, a velocidade da passada, a cadência (nº de passos por minuto) e amplitude dos movimentos, são algumas das características, que apesar da existência de um padrão de movimentos frequentes na marcha do ser humano, são bastante exclusivas da marcha de cada indivíduo. A marcha humana baseia-se numa deslocação vertical, especificada por uma ação variada e gradual dos membros inferiores, onde ocorre um contínuo contato com o solo. Este movimento, que é o mais usual aos olhos da biomecânica, acontece de forma espontânea e repetida e é utilizado pelo ser humano no dia-a-dia para a realização de variadas tarefas e durante o seu decurso, o indivíduo está constantemente exposto a forças externas [7].

2.2.1. Estado da arte da marcha humana

Através de obras e artigos científicos realizados por grandes cientistas da humanidade é possível confirmar-se a partir do estado da arte da marcha humana a existência de um progressivo interesse no estudo do movimento humano.

Crê-se que o início dos estudos do movimento humano se deu com Aristóteles através da sua obra “De Motu Animalium”, o primeiro livro com este título, onde escreve acerca da observação e análise dos movimentos de animais [11]. É usualmente considerado como sendo o primeiro biomecânico. É na época do Renascimento que Leonardo da Vinci realiza o primeiro estudo sobre a anatomia humana, partindo do contexto mecânico. Da Vinci estudou a função das articulações e analisou as forças musculares e como é que estas atuam ao longo das linhas que fazem as ligações às origens e às intersecções [11].

É no século XVII que Galileu Galilei inicia as suas observações no corpo humano. Galileu fixa o seu estudo nos aspetos mecânicos da estrutura dos ossos e na razão tamanho/forma dos mesmos. Pertence a Galileu o desenvolvimento da teoria da mecânica aplicada para o estudo dos movimentos de animais [11, 12]. Giovanni Borelli prossegue o trabalho de Galileu e acaba por escrever o segundo livro com o título “De Motu Animalium”, tal como é evidenciado na figura 2.2, onde é evidente o interesse pelo movimento executado pelos seres vivos. Borelli torna-se no primeiro cientista a estudar os movimentos do ato de deslocação nos animais, empregando os princípios da física [7]. O trabalho de Borelli é encarado como o principal motor de desenvolvimento da biomecânica [11, 13], proporcionando a evolução de modelos biomecânicos reproduzindo os movimentos caraterísticos da marcha [7]. Giovanni Borelli é ainda o responsável por ter definido o centro de gravidade do corpo [14].

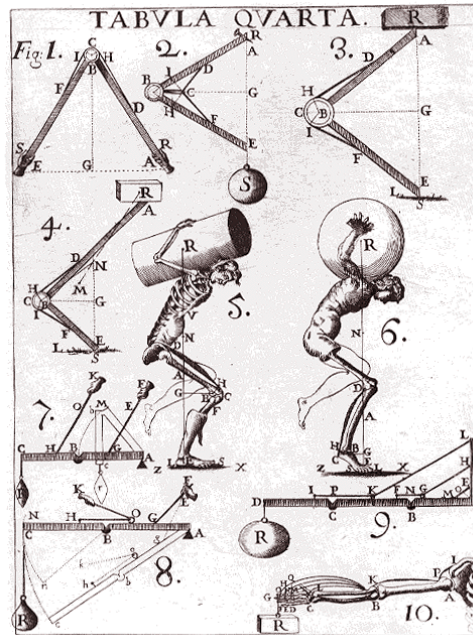


Figura 2.2 – Ilustração da Tabela 4 da obra “De Motu Animalium” por Giovanni Borelli (adaptado de [15]).

Otto Fischer e Wilhelm Braune foram os responsáveis pelo primeiro estudo que retratou a análise matemática 3D da marcha humana. Os robustos conhecimentos científicos e os princípios desenvolvidos pelos dois investigadores, a partir dessa análise, mantêm-se atuais e são a base para podermos ter uma melhor compreensão da marcha humana. [11, 13]. No século XIX os Irmãos Weber e os Irmãos Wilhelm, analisaram a marcha através dos princípios mecânicos e realizaram observações e estudos quantitativos que estabeleceram diversos parâmetros temporais e cinemáticos no decorrer da marcha humana. O estudo destes investigadores determinou um modelo para os estudos quantitativos que se seguiram referentes à marcha humana [7, 11, 16].

Jules Etienne Marey e Eadwerd Muybridge foram precursores na quantificação dos padrões de movimento humano desenvolvendo e utilizando mecanismos de medições de carácter tecnológico, nomeadamente técnicas de fotografia. Marey fazia uso de apenas uma câmara fotográfica e gravava o movimento efetuado numa chapa fotográfica, enquanto Muybridge utilizava um conjunto de câmeras para obter diversas fotografias de animais e de seres humanos em movimento, tal como se pode observar na figura 2.3 [11, 17].

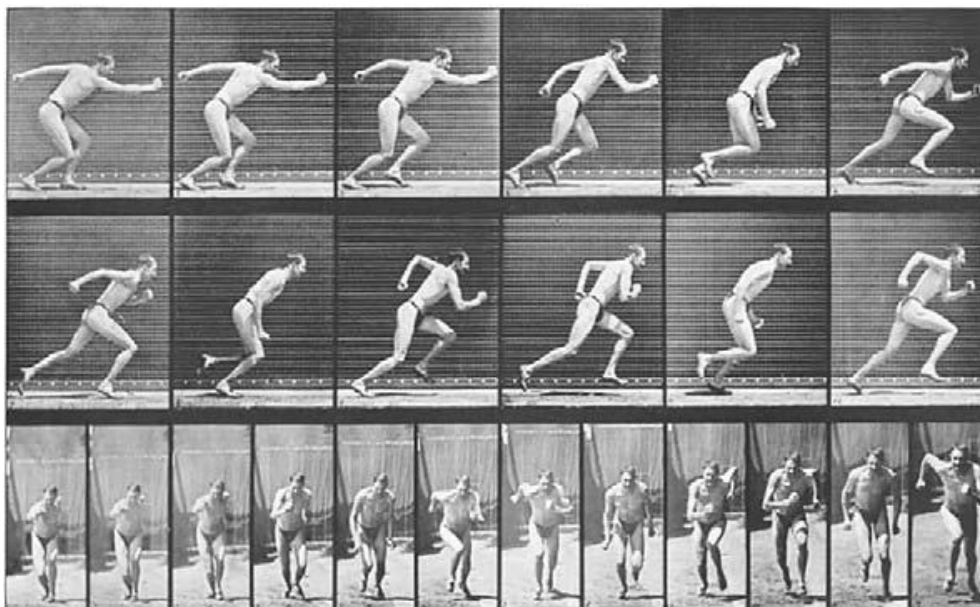


Figura 2.3 – Exemplo de várias fotografias do ser humano em movimento da obra “The Human Figure in Motion” por Eadwerd Muybridge (adaptado de [18]).

No século XX Eberhart e Inman introduziram a análise moderna da marcha humana. Ambos os investigadores neste estudo, realizado na Universidade da Califórnia, usaram os princípios científicos da mecânica dos movimentos existentes na marcha humana [7]. Os investigadores realizaram medições das rotações das articulações e da atividade dos músculos, por meio de mecanismos primitivos mas ainda assim essenciais para a formação de bases sólidas para técnicas essenciais empregues hoje em dia no estudo do movimento humano e para a percepção atual da marcha possibilitando a sua consequente evolução [11, 17].

Graças aos imensos estudos e às pesquisas realizadas pelos diversos investigadores, é notório, ao longo da história, o crescente desenvolvimento da observação e do estudo da locomoção humana até à atualidade, onde nos deparamos com recentes e rebuscados equipamentos, como é o caso das técnicas computacionais de alta velocidade e do sistema de câmeras de vídeo tridimensional que permitem representar e reconhecer padrões da marcha humana com e sem patologia. Este desenvolvimento permitiu à comunidade científica ter uma melhor percepção do movimento humano, obter progressos no estudo da marcha humana e consequentemente tornar a análise do movimento humano precisa e rigorosa [7, 19].

2.2.2. Ciclo de marcha

O ciclo de marcha (CM) pode ser definido como sendo a sucessão de movimentos que se verifica entre o contacto inicial de um pé no solo e o ponto em que o mesmo pé contacta de novo com o solo. A duração de todo este processo é de sensivelmente um segundo [7]. São vários os eventos que estão incluídos no CM, cuja identificação possibilita dividir o ciclo em várias fases. Das formas distintas que existem para se realizar a divisão do CM, a metodologia utilizada neste relatório é apresentada de seguida.

Tal como ilustra a figura 2.4, o ciclo da marcha pode ser dividido em duas principais fases [3, 7]:

- **Fase de apoio** – Esta etapa tem uma duração entre 51% a 60% do ciclo da marcha e é aqui que ocorre o impulso. É a parte do CM em que um dos pés está em contato com o solo.
- **Fase oscilante** – A duração desta fase situa-se entre os 38% e os 40% do CM e é nesta etapa que acontece a progressão do membro. É a parte do ciclo de marcha em que o pé não se encontra em contato com o solo. O término desta fase acontece quando o pé volta a contactar o solo.

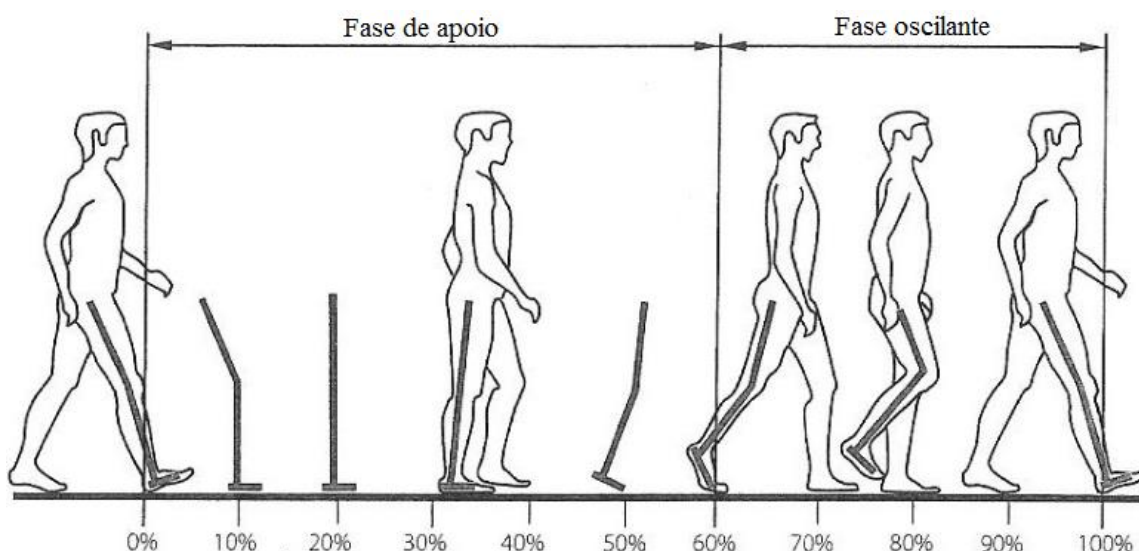


Figura 2.4 – Ilustração das fases da marcha: Fase de apoio e Fase oscilante de um ciclo de marcha (adaptado de [7]).

Geralmente ambas as fases anteriormente descritas podem ainda ser divididas em subfases onde estão incluídos eventos [3, 7]. A figura 2.5 mostra de forma esquematizada o conjunto de eventos que cada uma das fases da marcha possui. Ao todo o CM é composto por oito eventos, onde cinco dos quais acontecem na fase de apoio e os restantes três ocorrem na fase oscilante. É possível dividir a fase de apoio nos seguintes cinco eventos: contacto inicial, resposta de carga ou absorção e receção de carga, fase média de apoio, fase final de apoio, fase pré-oscilante. A fase oscilante pode ser dividida nos três eventos seguintes: fase oscilante inicial ou aceleração, fase oscilante média e fase oscilante final ou desaceleração [3, 7].

Os eventos inseridos na fase de apoio do ciclo da marcha são os seguintes:

- **Contacto inicial** – É o primeiro evento da fase de apoio e é o evento onde se dá início ao ciclo da marcha. É o instante em que o calcanhar do membro inferior em apoio contacta com o solo. O pé contralateral situa-se no final da fase de apoio. É nesta etapa que o centro de gravidade do corpo se encontra no seu instante mais baixo.
- **Resposta de carga ou absorção e receção de carga** – Esta etapa inicia-se quando o pé está completamente assente no solo e envolve o período de pequena duração em que existe apoio duplo pelos membros inferiores. Esta etapa tem o seu término quando o pé contralateral se eleva, transferindo o peso do corpo para o membro inferior em apoio. Nesta etapa mantém-se a progressão do movimento, estando o membro inferior sustentando o peso do corpo. O membro inferior contralateral situa-se em fase pré-oscilante. Este evento abrange cerca de 18% da fase de apoio e de 10% da totalidade do CM. A dispersão das forças que resultam do contacto realizado pelo calcanhar no solo e a adaptação às deformidades do mesmo são funções fundamentais presentes neste evento.
- **Apoio médio** – Este evento inicia-se com a elevação do pé contralateral e termina no instante em que o peso corporal está alinhado com a parte anterior (antepé) do pé de apoio. Durante esta etapa o membro contralateral transpõe o membro inferior em apoio. Neste momento o centro de gravidade está no seu instante mais elevado. Este evento abrange cerca de 30% da fase de apoio e de 20% do CM.

- **Fase final de apoio** – Este evento tem início aquando da elevação do calcanhar do pé e dura até o calcanhar do pé contralateral atingir o solo. Este evento tem a duração de cerca de 50% da fase de apoio e de cerca de 30% do CM.

- **Fase pré-oscilante** – Neste evento constata-se novamente um período de curta duração onde existe suporte duplo pelos dois membros inferiores. Esta etapa inicia-se com a subfase de contacto inicial para o pé contralateral e tem o seu término aquando da elevação do pé de apoio, começando a fase oscilante.

Os eventos inseridos na fase oscilante do ciclo da marcha são descritos em baixo:

- **Fase oscilante inicial ou aceleração** – Inicia-se devido à elevação do pé em balanço do solo para progredir e termina quando o pé contralateral se encontra na fase final da etapa de apoio médio. Nesta fase o peso corporal está novamente alinhado com o antepé do membro inferior em apoio.

- **Fase oscilante média** – Este evento compreende o tempo em que o pé em fase oscilante se desloca até à respetiva perna estiver anterior ao corpo.

- **Fase oscilante final ou desaceleração** – É com o fim da etapa anterior que este evento tem o seu início e é finalizado aquando do contato do pé em balanço no solo, originando dessa forma um novo ciclo da marcha.

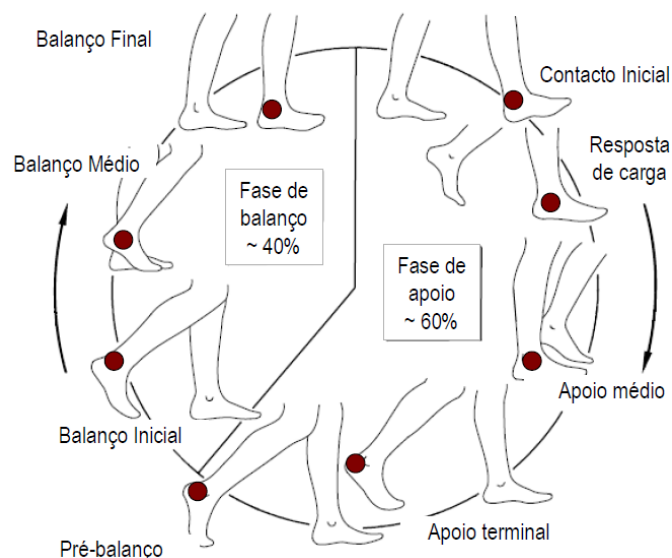


Figura 2.5 – Eventos que ocorrem nas fases de apoio e oscilante do ciclo da marcha (adaptado de [3]).

É possível representar-se o CM por variáveis referentes ao tempo e á distância, onde estão presentes parâmetros como o comprimento de passo, o comprimento da passada, a largura de passo, a velocidade, o tempo de ciclo e a cadência [7].

Na tabela 2.1 é possível visualizar-se os valores normalmente obtidos dos parâmetros acima descritos.

Tabela 2.1 – Valores dos parâmetros relacionados com o tempo e distâncias do ciclo de marcha (adaptado de [7]).

Parâmetros	Valores	Unidades
Cadência	1,5 a 2,3	Passos por segundo
Tempo de ciclo	1 a 1,2	Metros por segundo (m/s)
Velocidade	0,9 a 1,8	Metros por segundo (m/s)
Largura de passo	0,077 a 0,096	Metros (m)
Comprimento de passo	0,5 a 1,1	Metros (m)
Comprimento da passada	1,2 a 1,9	Metros (m)

Variáveis cinemáticas, cinéticas, neuromusculares e antropométricas, que estão presentes e que exercem influência em todos os eventos das fases do ciclo da marcha, podem ser reconhecidas como sendo padrões específicos da marcha [7].

Sendo o CM um fenómeno que decorre da combinação de variados fatores, é possível ser representado por variáveis referentes às forças internas e externas, onde estão presentes, a força de inércia, a força de reação do solo (FRS), a força de gravidade e a atividade muscular responsável por gerar as forças internas. A força de gravidade é a força responsável por atuar na ação de diminuir o valor do centro de massa de cada segmento anatómico do corpo humano. É a partir dos atributos inercias dos segmentos anatómicos do corpo humano que resulta a força de inércia. Esta força atua no sentido oposto à da aceleração do segmento mas é proporcional à mesma. Aquando da força exercida por um indivíduo no solo com determinada intensidade, o solo irá devolver uma força, denominada por FRS, com a mesma magnitude mas em sentido oposto à força que o indivíduo exerceu no solo. Relativamente às forças internas, estas são

geradas na sua maior parte pela atividade muscular. Os músculos desempenham funções de transmissão, absorção e resistência a forças internas e é essa atividade que vai ser detetada por eletromiografia [20, 21].

2.2.3. Parâmetros cinemáticos no ciclo de marcha

A análise cinemática, um dos instrumentos lançados para a curva de aprendizagem e compreensão do movimento humano, baseia-se na mensuração do movimento sem ponderar as forças envolvidas. Os movimentos observados, na análise da marcha, têm presentes deslocamentos, velocidades e acelerações lineares e angulares que são calculados a partir da cinemática. [22]. Geralmente para a realização destes cálculos os membros inferiores são divididos em quatro corpos rígidos correspondendo aos segmentos pélvis, coxa, perna e pé, que se ligam entre si pelas articulações anca, joelho e tornozelo [7]. Cada um dos segmentos corporais detém uma posição e orientação global, no espaço, que é adquirida por meio da relação entre um Sistema de Coordenadas Local (SCL) fixamente associado a esse segmento e a um sistema de coordenadas conhecido, como por exemplo o Sistema de Coordenadas Global (SCG) do laboratório de análise biomecânica [23, 24]. A posição e a orientação de determinado segmento corporal podem ser reveladas em relação ao referencial global ou local, posteriormente à designação dos sistemas de coordenadas global e local [7].

2.2.3.1. Deslocamentos angulares

Durante o CM é possível determinar o histórico angular dos segmentos anatómicos, a partir de um sistema que permita realizar a definição dos segmentos e adquirir as posições das partes extremas dos mesmos no decurso do ciclo. Através das coordenadas da parte proximal e distal das extremidades é possível determinar os ângulos dos segmentos. Os ângulos das articulações são determinados através das diferenças entre os valores obtidos dos ângulos dos segmentos [7].

2.2.3.1.1. Ângulos das articulações do membro inferior numa marcha normal

Anca

A figura 2.6 mostra-nos o gráfico com os valores típicos do ângulo inter-segmentar da anca no plano sagital, durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que no evento onde se dá início ao ciclo de marcha, ou seja, o contacto inicial, que a anca se encontra fletida cerca de 15° e que deste evento até atingir a parte terminal da fase de apoio ($\approx 40\%$ do ciclo de marcha) vai realizar um movimento de extensão que vai alcançar um valor máximo próximo dos 5° . Ao longo da fase pré-oscilante ($\approx 50\%$ do ciclo de marcha) mas também ao longo de toda a fase oscilante regista-se uma flexão da anca que atinge os cerca de 35° , aproximadamente a 85% do ciclo de marcha.

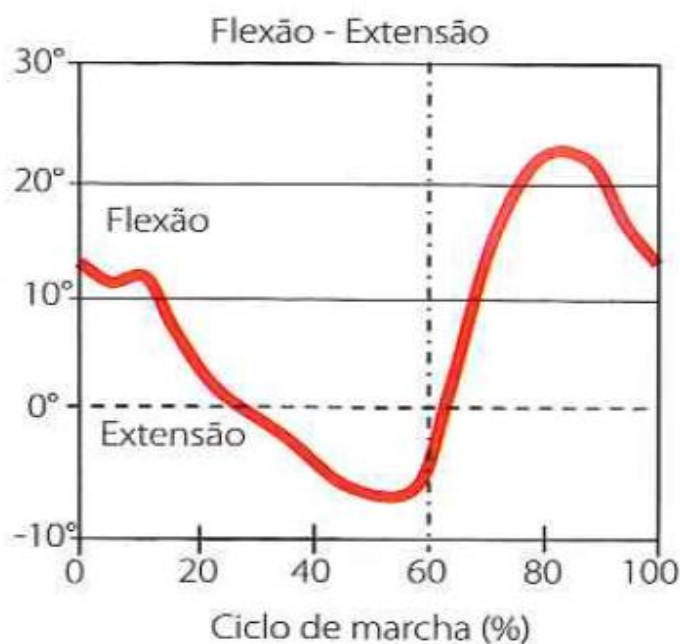


Figura 2.6 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar da anca, durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [7]).

Joelho

A figura 2.7 mostra-nos o gráfico com os valores típicos do ângulo inter-segmentar do joelho no plano sagital, durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que o joelho vai realizar uma flexão progressiva até

aproximadamente 20°, valor registado aquando do período de curta duração do apoio duplo pelos membros inferiores ($\approx 10\%$ do ciclo de marcha). O joelho está em extensão até aproximadamente 40% do ciclo de marcha, onde se regista uma extensão máxima. É já na fase oscilante que o joelho regista uma flexão com um pico máximo de aproximadamente 70° e é após atingir este valor que o joelho retorna ao movimento de extensão, atingindo a extensão máxima na fase oscilante final, ou seja, na reta final do CM.

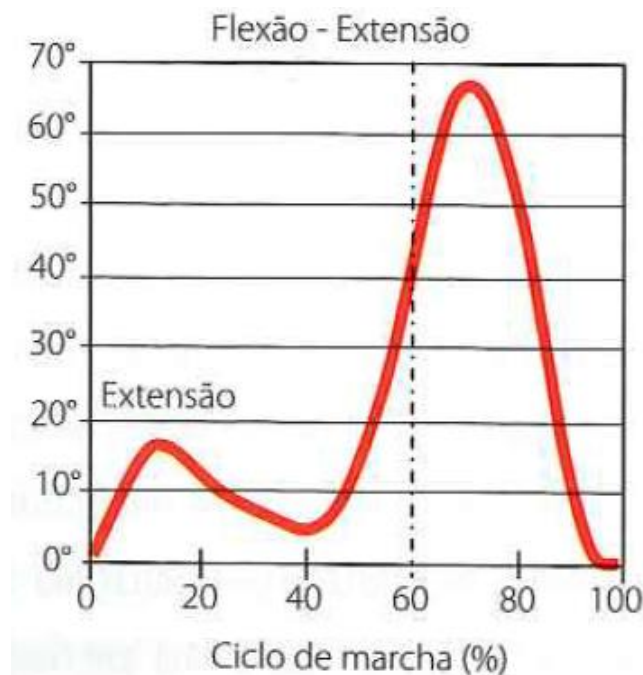


Figura 2.7 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar do joelho, durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [7]).

Tornozelo

A figura 2.8 mostra-nos o gráfico com os valores típicos do ângulo inter-segmentar do tornozelo no plano sagital, durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que o tornozelo regista aproximadamente 0° aquando do contacto inicial. Após este contacto inicial e até cerca de 10% do CM o tornozelo regista uma flexão plantar até cerca de 8°. Ao longo da restante fase de apoio, o tornozelo vai realizar um movimento de dorsiflexão até atingir cerca de 20° quando se regista a conclusão de metade do CM. Desta fase até ao início da fase oscilante regista-se de novo a flexão plantar do movimento do tornozelo alcançando um pico máximo de 20°. Em quase toda a fase oscilante o tornozelo regista um movimento de dorsiflexão, até se observar já na reta final do CM um ligeiro movimento de flexão plantar.

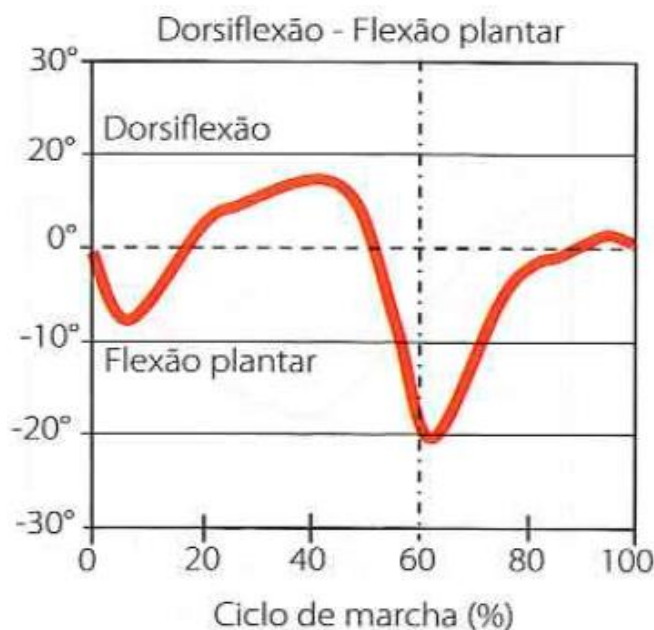


Figura 2.8 – Representação gráfica dos valores típicos do ângulo inter-segmentar do tornozelo, durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [7]).

2.2.3.1.2. Velocidades angulares das articulações do membro inferior numa marcha normal

A partir dos valores dos históricos angulares é possível realizar-se o cálculo da velocidade angular. A velocidade angular expressa-se em radianos por segundo (rad/s) e calcula-se através da divisão dos deslocamentos angulares pelo intervalo de tempo em que decorre o movimento.

Na figura 2.9 estão representados os valores típicos das velocidades angulares das articulações anca, joelho e tornozelo, no decurso de um CM, no plano sagital e é possível observar-se que é no joelho (Fig. 2.9b), que se assinalam os valores de velocidade angular mais elevados. Primeiramente regista-se na fase correspondente a aproximadamente 60% do ciclo de marcha um valor de 7rad/s mas é na fase oscilante final, isto é, quando se assinala $\approx 90\%$ do CM, que se assinala o valor mais elevado de velocidade angular com um pico máximo de sensivelmente 8 rad/s. Ao contrário do joelho, a anca (Fig. 2.9a) e o tornozelo (Fig. 2.9c) registam os valores mais baixos de velocidade angular. Na anca o pico de velocidade máxima não ultrapassa os 3 rad/s, valor que se regista a $\approx 70\%$ do ciclo de marcha, na fase oscilante inicial, enquanto no tornozelo o pico de velocidade máxima é de aproximadamente 6 rad/s valor que se regista a $\approx 55\%$ do CM, correspondente ao período anterior ao início da fase oscilante inicial.

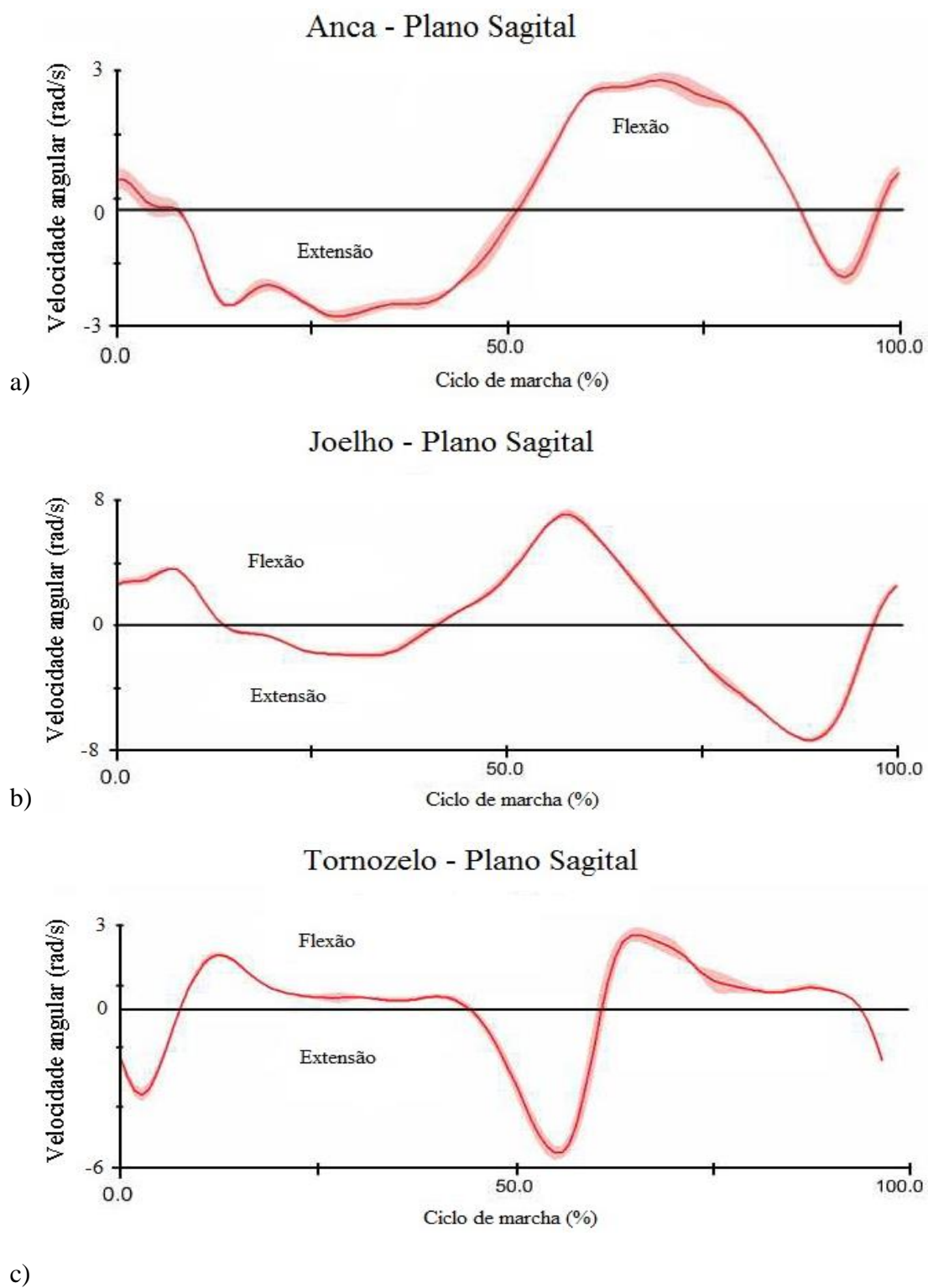


Figura 2.9 – Representação gráfica das velocidades angulares das articulações anca (a), joelho (b) e tornozelo (c), durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

2.2.3.1.3. Acelerações angulares das articulações do membro inferior numa marcha normal

A partir dos valores das velocidades angulares é possível realizar-se o cálculo da aceleração angular. A aceleração angular calcula-se através da divisão da velocidade angular pelo intervalo de tempo e expressa-se em radianos por segundo ao quadrado (rad/s^2) [7].

É possível observar através da figura 2.10 os valores típicos das acelerações angulares das articulações, da anca, do joelho e do tornozelo, durante o CM, no plano sagital. O valor mais elevado de aceleração angular regista-se no joelho (Fig. 2.10b) e no tornozelo (Fig. 2.10c) e é de aproximadamente 110 rad/s^2 . No primeiro, este valor de aceleração máxima regista-se na fase oscilante final enquanto no segundo o valor é atingindo na fase oscilante inicial, ou seja, quando se realiza a ascensão do pé. O valor de aceleração angular máxima na anca (Fig. 2.10a) não ultrapassa os 45 rad/s^2 e regista-se, tal como no tornozelo, na fase oscilante inicial. Tal como se pode observar, em todos os gráficos, existe um pico de aceleração que se destaca no início da fase de apoio mais propriamente na fase de resposta de carga ou absorção e receção de carga, quando o pé está completamente assente no solo ($\approx 10\%$ do ciclo de marcha). Nesta fase a anca regista um valor de aceleração angular máxima de cerca de 20 rad/s^2 enquanto no tornozelo esse valor de aceleração angular ultrapassa os 60 rad/s^2 valor aproximadamente igual ao registado em extensão no joelho.

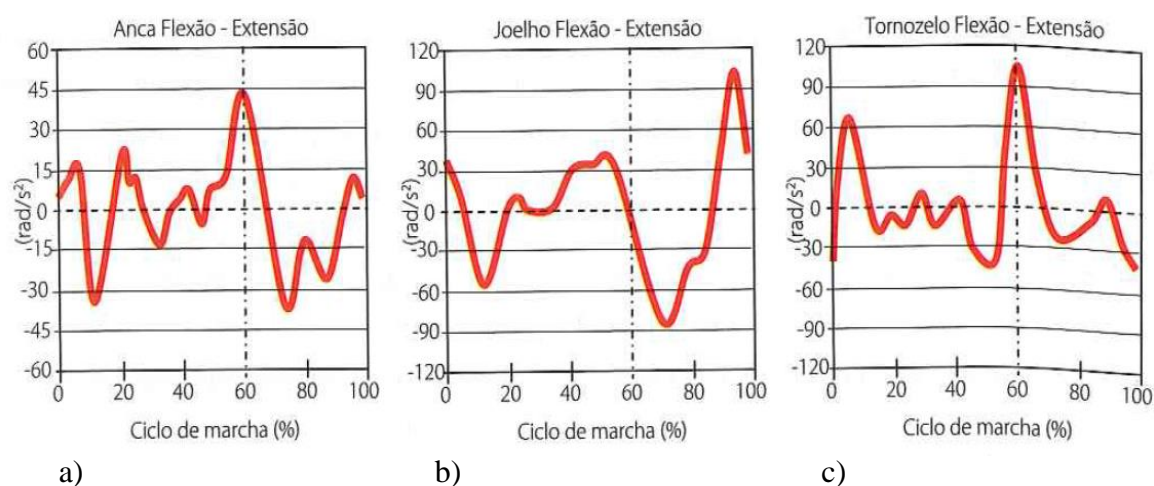


Figura 2.10 – Representação gráfica das acelerações angulares das articulações anca (a), joelho (b) e tornozelo (c), durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [7]).

2.2.4. Parâmetros cinéticos no ciclo de marcha

O movimento inclui forças internas e externas que podem ser estudadas através da análise cinética. Entre outras, são fonte de forças internas a ação muscular, os ligamentos, as articulações e a fricção entre os músculos. Na marcha humana as principais forças externas são a força de reação do solo, ao peso corporal do indivíduo e a força de resistência do ar à progressão do indivíduo. As componentes da FRS são normalmente obtidas através da utilização de plataformas de força. É possível obter através da análise cinética os dados relativos às forças de reação nas articulações, aos momentos articulares, à potência mecânica e ao trabalho mecânico [22].

É comum o recurso à dinâmica inversa para se efetuar o cálculo da cinética. A dinâmica inversa faz uso da informação cinemática do movimento (velocidades e acelerações angulares e lineares), dos registos antropométricos dos segmentos corporais do indivíduo (centro de massa, massa, momentos de inércia e medidas dos segmentos corporais) e das forças externas infligidas ao indivíduo em movimento (forças de reação do solo produto da interação entre o pé e o solo) de forma a obter o cálculo dos momentos articulares e das forças de reação [22].

2.2.4.1. Momentos articulares

No plano sagital, se o valor dos momentos é positivo, os músculos são denominados como músculos flexores, se os valores dos momentos são negativos, os músculos são definidos como extensores.

2.2.4.1.1. Momentos nas articulações do membro inferior numa marcha normal

Anca

A figura 2.11 mostra-nos o gráfico com os valores típicos dos momentos articulares da anca no plano sagital durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que no evento que corresponde ao contacto inicial, a anca encontra-se num momento de flexão com um valor de aproximadamente 0,5 N.m/kg. Este momento tem

a sua duração até aproximadamente 20% do ciclo de marcha, altura em que o movimento é alterado para um momento de extensão, registando-se um pico de valor máximo de cerca de 0,8 N.m/kg a sensivelmente 50% do ciclo de marcha. Este momento de extensão estende-se até aproximadamente 75% do ciclo de marcha, altura em que se regista a fase oscilante média. A partir desta fase, a anca altera novamente o seu movimento, tornando a registar-se um momento de flexão até ao final do ciclo de marcha.

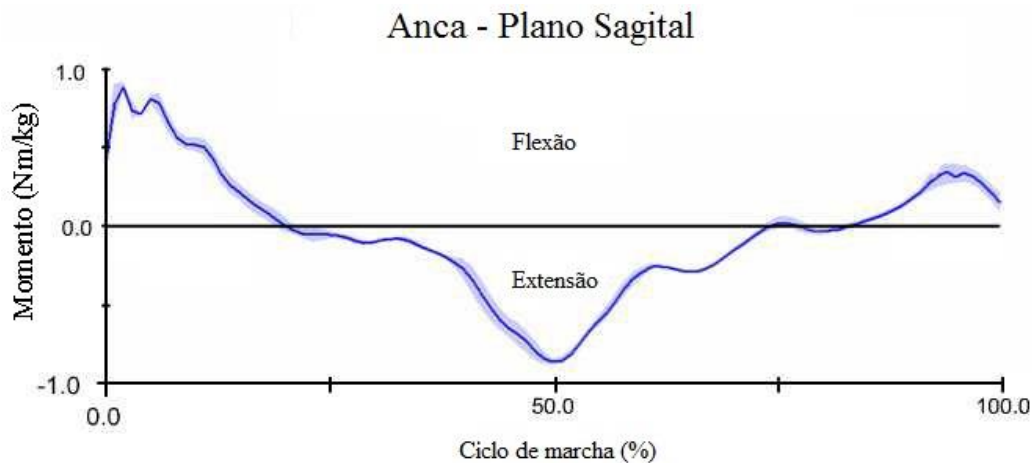


Figura 2.11 – Representação gráfica dos momentos articulares da anca durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

Joelho

A figura 2.12 mostra-nos o gráfico com os valores típicos dos momentos articulares do joelho no plano sagital durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que no contacto inicial, o joelho encontra-se num momento de extensão com um valor de aproximadamente 0,4 Nm/kg, progredindo ainda no período inicial da fase de apoio para um momento de flexão que atinge um valor máximo de aproximadamente 0,8 Nm/kg. Na reta final da fase de apoio assinala-se igualmente um pico de extensão mas de menor valor em comparação com o registado no início desta fase. Já na fase pré-oscilante regista-se um momento de flexão com um pico de valor máximo de cerca de 0,2 Nm/kg, progredindo imediatamente de seguida para um momento de extensão que vai permanecer até ao fim do CM.

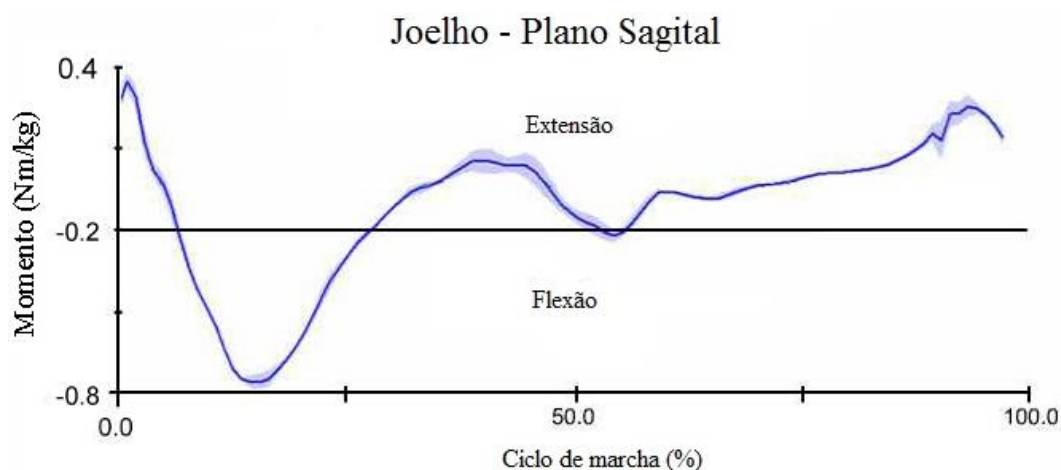


Figura 2.12 – Representação gráfica dos momentos articulares do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

Tornozelo

A figura 2.13 mostra-nos o gráfico com os valores típicos dos momentos articulares do tornozelo no plano sagital durante o ciclo de marcha. É possível visualizarmos no gráfico, que no contacto inicial, o tornozelo encontra-se em 0°. De forma bastante rápida dá-se uma mudança para um momento de flexão plantar que se mantém ao longo de cerca de 25% do ciclo de marcha, atingindo um pico de valor máximo de aproximadamente 0,3 Nm/kg. A partir daqui regista-se uma alteração para o momento de dorsiflexão, onde o joelho vai atingir um pico de valor máximo de aproximadamente 1,2 Nm/kg. A partir desta fase regista-se uma alteração para o momento de flexão plantar até o joelho atingir a sua fase neutra e assim permanecer durante toda a fase oscilante.

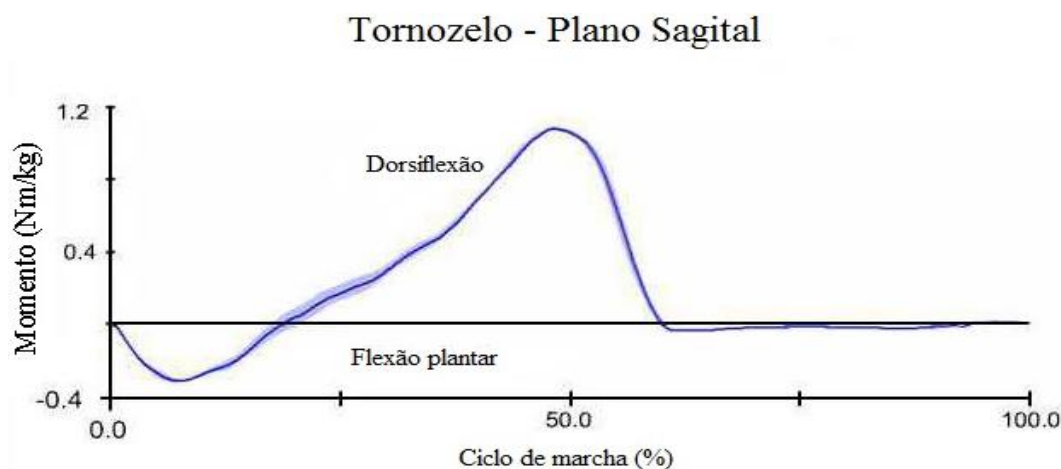


Figura 2.13 – Representação gráfica dos momentos articulares do tornozelo durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

2.2.4.2. Potências articulares

A potência mecânica (P), possibilita a informação acerca da ação dos músculos, ou seja, se os músculos estão a realizar uma ação concêntrica ($P > 0$), se os músculos praticam uma ação excêntrica ($P < 0$) ou se os músculos exercem uma ação isométrica ($P = 0$) [26].

É possível observarmos através dos gráficos correspondentes à potência, a potência mecânica absorvida ou gerada por um determinado grupo de músculos, podendo esta ser de valor positivo ou negativo. A potência mecânica expressa-se em Watt por kg (W/kg) e o cálculo da potência é realizado através da velocidade angular articular pelo momento articular, num definido instante de tempo [7].

2.2.4.2.1. Potências nas articulações do membro inferior numa marcha normal

Anca

A figura 2.14 mostra-nos o gráfico com os valores típicos das potências na articulação da anca no plano sagital, durante o ciclo de marcha.

É possível observarmos no gráfico correspondente à anca que entre o momento que se inicia o CM e a fase inicial de apoio, a potência gerada pela atividade concêntrica dos músculos flexores alcança um pico de sensivelmente $0,6 W/kg$. A atividade excêntrica dos músculos origina uma absorção da potência com um pico de valor máximo de sensivelmente $1 W/kg$ que se regista exatamente a seguir a esse pico e que se mantém até cerca de 45% do ciclo de marcha. A partir da fase pré-oscilante até ao final da CM regista-se novamente uma geração de potência pela atividade concêntrica dos músculos flexores com dois picos relevantes de valor máximo de aproximadamente $1 W/kg$ ($\approx 60\%$ do ciclo de marcha) e $0,5 W/kg$ ($\approx 95\%$ do ciclo de marcha) respetivamente. Entre estes dois picos regista-se a aproximadamente 70% do ciclo de marcha uma absorção da potência com um valor máximo ligeiramente acima de $0 W/kg$.

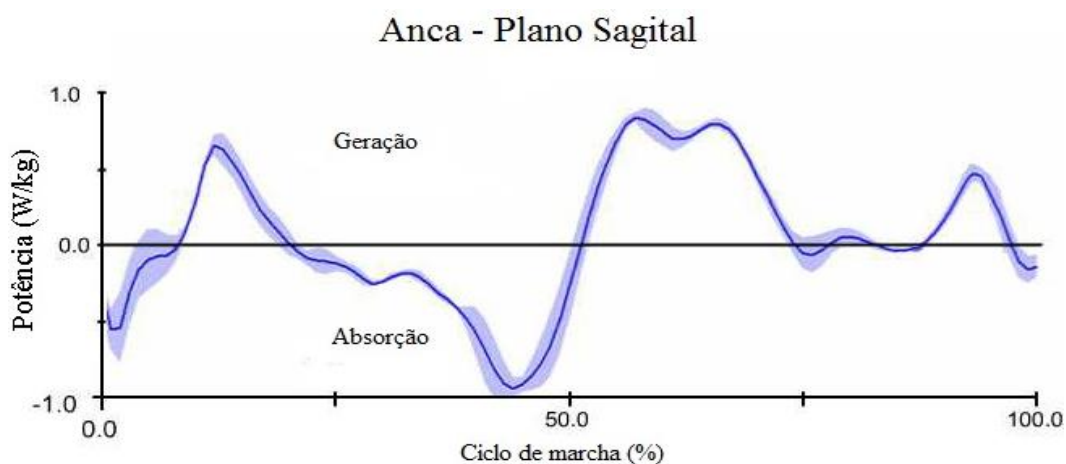


Figura 2.14 – Representação gráfica da potência da anca durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

Joelho

A figura 2.15 mostra-nos o gráfico com os valores típicos das potências na articulação do joelho no plano sagital, durante o ciclo de marcha.

Durante a fase de apoio, é possível visualizar-se no gráfico referente ao joelho que se registam dois picos correspondente à potência absorvida pela atividade excêntrica dos quadríceps, um atingindo cerca de 1,5W/kg e outro ultrapassando ligeiramente os 0 W/kg. Nesta fase é ainda possível observar-se que se registam três picos correspondentes à potência gerada no decorrer da contração dos quadríceps, um de valor de cerca de 1,3 W/kg, outro de valor de cerca de 0,5 W/kg e um último que ultrapassa ligeiramente os 0 W/kg. Na fase pré-oscilante observa-se uma absorção da potência realizada pela atividade excêntrica dos quadríceps que chega a um pico máximo de aproximadamente 1,2 W/kg. Já na reta final da fase oscilante regista-se um pico máximo de valor aproximado de 1,5 W/kg, correspondendo à potência absorvida pela atividade excêntrica dos hamstrings (isquiotibiais).

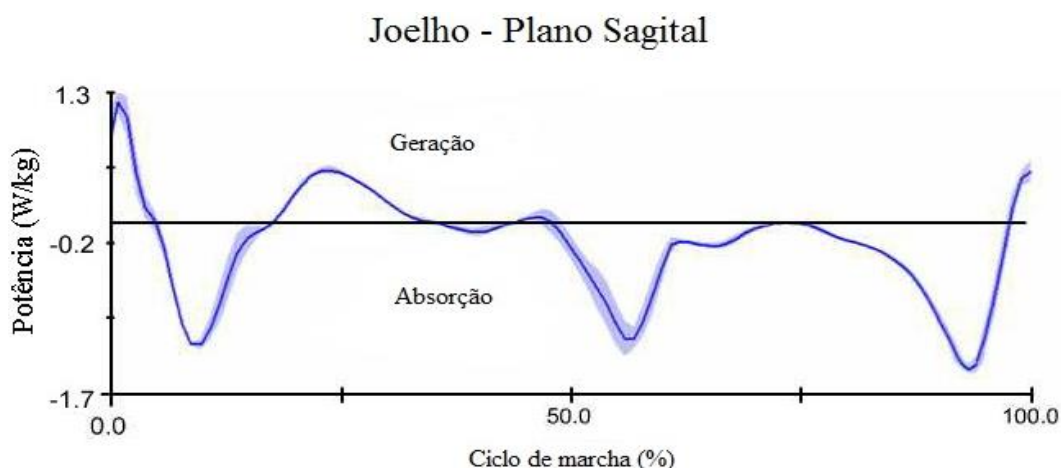


Figura 2.15 – Representação gráfica da potência do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

Tornozelo

A figura 2.16 mostra-nos o gráfico com os valores típicos das potências na articulação do tornozelo no plano sagital, durante o ciclo de marcha.

É possível observarmos no gráfico correspondente ao tornozelo que durante toda a fase de apoio a potência absorvida pela atividade concêntrica dos músculos plantares é baixa, tendo como pico um valor máximo de cerca de 0,8 W/Kg. Ainda na fase de apoio regista-se uma potência gerada, pela atividade concêntrica dos músculos plantares, com um pico de sensivelmente 0,3 W/kg. Aquando do registo da fase pré-oscilante ($\approx 50\%$ do ciclo de marcha) é possível observar-se uma potência com um pico de aproximadamente 2,5 W/kg, gerada pela atividade concêntrica dos músculos plantares. Esta geração de potência termina quando se regista a entrada na fase oscilante, e desta fase até ao fim do ciclo, o valor observado de potência é de 0 W/kg.

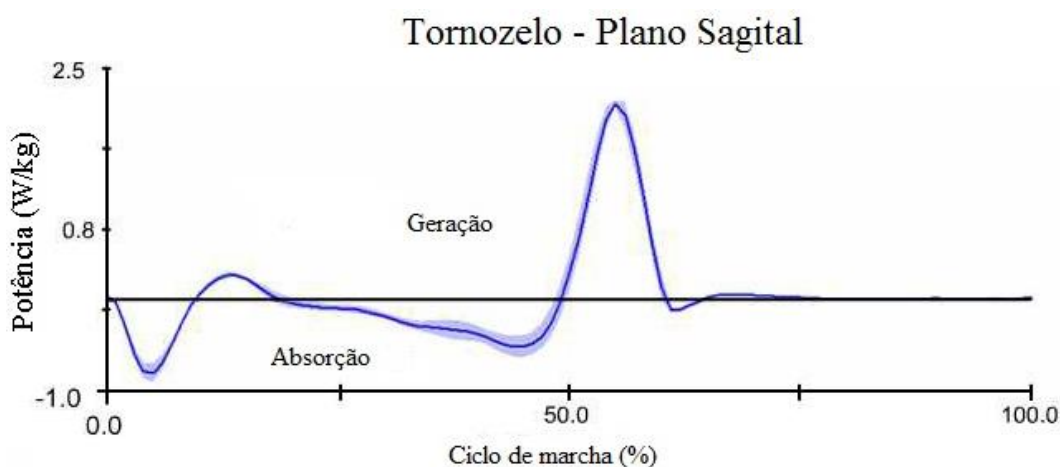


Figura 2.16 – Representação gráfica da potência do joelho durante o ciclo de marcha no plano sagital (adaptado de [25]).

Através da comparação dos resultados dos seus dados do movimento, com as características do padrão típico do movimento, apresentadas em cima, o utente poderá utilizar esta comparação como uma fonte de *biofeedback* dos processos motores utilizados, o que poderá possibilitar ao indivíduo a realização de progressos do seu desempenho motor, consequente da interação com o sistema de análise do movimento [27].

2.3. Análise Cinemática

A análise cinemática é um instrumento que permite estudar e compreender o movimento humano, baseando-se na mensuração do movimento sem ponderar as forças envolvidas [22].

A análise cinemática é feita para o cálculo dos deslocamentos, das velocidades e das acelerações angulares e lineares existentes no movimento em observação. Na análise cinemática a captura de imagens sucessivas permite estudar o movimento com elevado pormenor no espaço e no tempo, o que possibilita o complemento da análise do movimento que até então era conseguida maioritariamente através da observação humana [23].

A informação cinemática, entre outras aplicações, é extremamente importante para a realização de um diagnóstico assertivo, uma estratégia de intervenção apropriada, por exemplo, em intervenções cirúrgicas que envolvam componentes ortopédicos e na conceção e grafismo de próteses empregues no restabelecimento normal das funções da marcha [7].

A utilização de imagens digitais para o estudo do movimento humano tem assistido a um progresso desmedido e atualmente a tecnologia ótica tem sido a mais comercializada e a mais usual na análise da marcha humana [7].

Geralmente em laboratórios de análise biomecânica da marcha, para a realização da análise cinemática, através dos sistemas óticos, é fundamental obter a trajetória 3D de marcas refletivas dispostas sobre a pele do corpo do sujeito, utilizando um número nunca inferior a três câmeras de vídeo digitais pois na transição de duas para três câmeras nota-se uma maior redução do erro de aquisição de dados [7, 28].

Se no mínimo duas câmeras obterem uma determinada marca e se a calibração das mesmas for conhecida, é possível calcular a posição tridimensional dessa mesma marca [7]. Usualmente são obtidas imagens do sujeito em posição estática e durante o decurso do movimento. Num momento posterior, as imagens serão processadas pelo sistema computacional e o conjunto de dados cinemáticos é dado a conhecer ao usuário. Cada um dos segmentos corporais detém uma posição e orientação global, no espaço, que é adquirida por meio da relação entre um SCL fixamente associado a esse segmento e a um sistema de coordenadas conhecido, como por exemplo o SCG do laboratório de análise biomecânica [23, 24]. A posição e a orientação de determinado segmento corporal podem ser reveladas em relação ao referencial global ou local, posteriormente à designação dos sistemas de coordenadas global e local [7].

Os sistemas de tecnologia ótica e os sistemas de tecnologia inercial, são os sistemas sugeridos, nos protocolos compilados, para a aquisição de dados cinemáticos da marcha em contexto laboratorial e ambulatorio, respetivamente, e por isso são abordados nos subcapítulos seguintes.

2.3.1. Sistema de tecnologia ótica

O sistema de câmeras de vídeo digital é o tipo de tecnologia mais usual empregue nos sistemas de aquisição do movimento humano e a sua utilização é frequente no controlo da direção e movimento dos segmentos e articulações [29, 30].

Algumas das vantagens da tecnologia ótica prendem-se pelo fato da aquisição dos dados ser precisa e rigorosa, pela inexistência de cabos ou baterias colocadas no corpo do utente, pelo fornecimento de programas para análise de dados, por parte dos fabricantes e pela pré-visualização em tempo real dos movimentos realizados pelo utente.

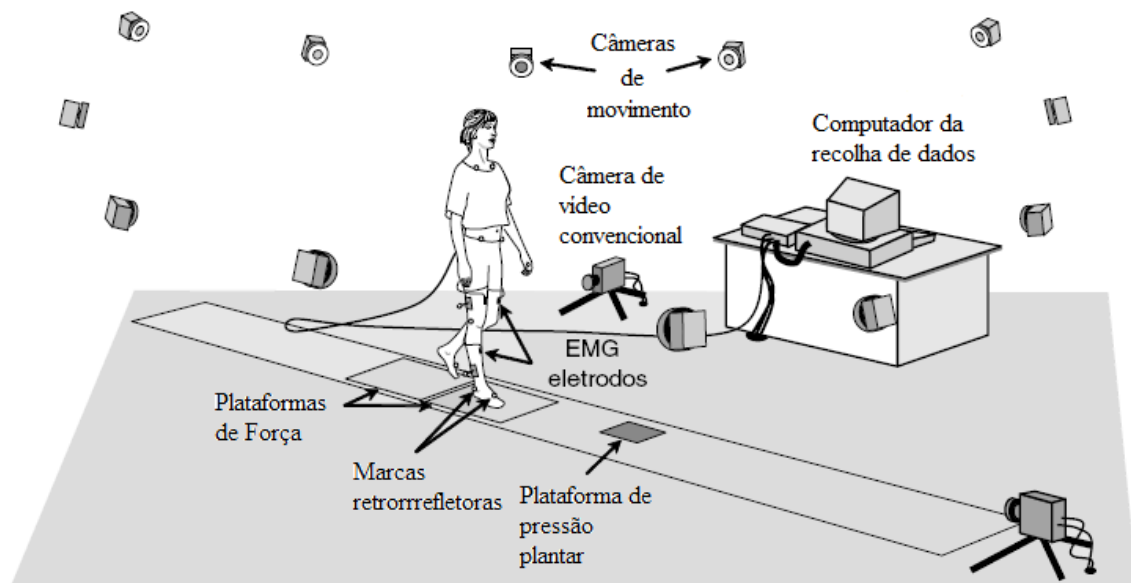


Figura 2.17 – Representação gráfica da análise cinemática da marcha. Sendo possível visualizar as várias componentes que a compõem: câmeras vídeo-digitais, computador com *software* de aquisição de dados e marcas retrorrefletoras colocadas no indivíduo (adaptado de [3]).

Tal como é possível observar na figura 2.17, os sistemas óticos são compostos por câmeras com elevada resolução e velocidade de obtenção de dados e por *software* específico que realiza o tratamento dos dados o que faz com que este sistema de análise de movimento humano possua um custo elevado em comparação com outros sistemas [31]. As desvantagens não só se prendem com o fator preço como também se manifestam com a carência de que a recolha dos dados tenha que ser realizada em regime laboratorial, ou seja, num ambiente demasiado limitado. Num ambiente laboratorial é necessário fazer os possíveis para que não aconteçam nem reflexões que originam marcas que não existem nem oclusões que encubram o campo de visão das câmeras em relação às marcas colocados sobre a pele do utente [31].

Hoje em dia o sistema ótico passivo é o sistema principal de aquisição do movimento humano [32]. Este sistema utiliza marcas esféricas cobertas com fita retrorrefletora que serão dispostas sobre a pele do indivíduo em segmentos, articulações e outros pontos anatómicos de referência. As câmeras de vídeo digitais, comumente apresentam estroboscópios junto à lente, que detêm a luz que recai nos marcas e é refletida de volta para as câmeras. As marcas irão surgir sobre a forma de pontos brilhantes e cada uma das câmeras irá gravar uma imagem bidimensional. Numa fase posterior a informação será encaminhada para um *software* que grava a posição das

marcas e estabelece diversas variáveis como a posição, a velocidade, o ângulo e a aceleração do movimento adquirido [32, 33].

2.3.1.1. Aquisição dos dados cinemáticos através do sistema de câmeras

De forma a se dar início à aquisição de dados cinemáticos, é necessário que o espaço onde irá decorrer o movimento em análise esteja devidamente calibrado pois o processo de reconstrução 3D é mais exato no interior deste espaço. Previamente à calibração da área, é imprescindível a colocação de um utensílio que se denomina como *L-Frame*, conjunto de três marcas estáticas, idênticas às colocadas no indivíduo, formando um L, onde as coordenadas dos vários pontos que o compõem sejam reconhecidas e que será colocado num dos vértices superiores da plataforma de forças para determinar a origem e orientação do laboratório no SCG [23].

Na fase seguinte e já com o campo de visão do sistema de câmeras calibrado, é possível transitar-se para a fase correspondente à colocação do *setup* de marcas e *clusters*, em eminências ósseas e segmentos, respetivamente. Denomina-se por *cluster* um suporte com um conjunto de pelo mínimo três marcas retrorrefletoras não colineares, como é possível observar na figura 2.18.



Figura 2.18 – *Cluster* com 4 marcas retrorrefletoras não colineares.

Como já foi descrito neste relatório, a quantidade de câmeras presente no sistema ótico está relacionada com o grau de complexidade do movimento em estudo. Como a marcha humana é um movimento complexo é essencial o uso de duas ou mais câmeras de forma a se realizar a reconstrução tridimensional [23].

Seguidamente realiza-se o processamento de imagem onde de forma automática, por meio de um *software* especializado ou de forma manual são identificadas as marcas em todos os momentos (*frames*) da gravação recolhida [23].

Após a identificação das marcas, é feita a reconstrução do trajeto realizado pelas mesmas. A reconstrução do trajeto é feita por meio da determinação de coordenadas 3D provenientes das coordenadas bidimensionais oriundas das várias câmeras do sistema ótico. Seguidamente, o trajeto das marcas será alvo duma suavização que eliminará todos os erros decorrentes ao longo do processo. O histórico cinemático das articulações e dos segmentos corporais em análise é o resultado obtido deste processamento [23].

2.3.2. Sistema de tecnologia inercial

Uma unidade de medição inercial (UMI) consiste num giroscópio triaxial e num acelerómetro triaxial. A combinação destas duas diferentes tecnologias possibilita a medição de movimento angular e linear em 3D e a respetiva aquisição da velocidade e aceleração sem a necessidade de recorrer a câmeras ou referências externas. Foi possível através dos progressos registados na tecnologia de Micro Electro Mechanical Systems (MEMs), relativos à inferioridade de custos, dimensões, peso e consumo energético, introduzir o uso dos sensores inerciais e adaptar os mesmos para análise do movimento humano em contexto clínico e desportivo [11].

Os sensores inerciais podem ser definidos como sendo mecanismos com componentes eletrónicos que através da combinação de giroscópios, acelerómetros e por diversas ocasiões, magnetómetros, realizam a medição e fornecem informações relativamente à posição, orientação, aceleração, velocidade e forças gravitacionais de um determinado objeto [34]. A utilização dos sensores inerciais na análise do movimento em contexto ambulatorial tornou-se bastante abundante uma vez que esta tecnologia proporciona uma avaliação correta dos dados cinemáticos na mensuração do

corpo humano [11].

A partir dos giroscópios triaxiais e acelerómetros triaxiais, é possível adquirir-se a aceleração e a velocidade angular [34].

O acelerómetro é um dispositivo, constituído por uma massa suspensa por uma mola e que, mede a aceleração e a aceleração gravitacional através dos fundamentos da 2ª Lei de Newton e da Lei de Hooke. O acelerómetro possibilita o deslocamento da massa pelo efeito de uma força devido à gravidade até que essa força seja equilibrada pela força da mola. O deslocamento da mola, a partir da sua posição inicial de equilíbrio, é mensurado e traduzido em aceleração, aceleração, essa, executada pela força [11]. A partir do integral da aceleração, é possível adquirir-se a velocidade e a partir da integração desta é possível obter-se a posição que diz respeito aos três eixos dos acelerómetros e giroscópios [34].

O giroscópio é um dispositivo, constituído por uma massa que sofre oscilação e que mede a velocidade angular. Quando rodado, a massa além de vibrar na direção da oscilação, experimentará também um deslocamento secundário perpendicular à direção da oscilação inicial. Este deslocamento secundário, denominado como Efeito de Coriolis, é usado como uma grandeza da velocidade angular. Através da integração da velocidade angular é possível estimar a mudança da orientação e através da eliminação da aceleração gravitacional e da integração da aceleração dupla é possível estimar a mudança da posição [11 e 35].

De forma a colmatar as lacunas das UMI, foi admitida a junção de um magnetómetro, resultando assim num sensor com um acelerómetro, giroscópio e magnetómetro, tal como é possível visualizar-se na figura 2.19.

O magnetómetro é um dispositivo usado para realizar a mensuração da direção e força do campo magnético nas imediações do sensor. Os magnetómetros proporcionam uma estimação da posição adquirida desde o campo magnético da terra. Devido ao fato de serem intrinsecamente suscetíveis à presença de interferências magnéticas locais causadas por materiais ferromagnéticos causadores de perturbação no campo magnético da Terra podem ser assinaladas e recompensadas, de tal maneira que a estimativa da orientação não se altera [11, 36].



Figura 2.19 – Unidade de medição inercial contendo um acelerómetro triaxial, um giroscópio triaxial e um magnetómetro triaxial (adaptado de [80]).

Diversos investigadores revelaram atualmente que é possível alcançar uma estimativa sólida e exata da orientação e reduzir substancialmente os erros nos dados angulares através da fusão de sensores, inerciais e magnéticos, numa construção de Filtro de Kalman [11], tal como esquematizado na figura 2.20.

O filtro de Kalman é utilizado nos sensores inerciais, porque é comum estes possuírem vários tipos de ruído, como o “ (...) *White noise* (relativo a fontes de alimentação), *Exponentially Correlated Noise* (referente a alterações da temperatura ambiente), *Random-Walk Sensor Errors* (relativo a integração) e *Harmonic Noise* (respeitante a ambientes climatizados)”. Sem este filtro os sensores inerciais não são viáveis pois, os ruídos não são eliminados com simples integrações. O filtro de Kalman vai ter como principal função, eliminar parte dos ruídos que os sensores inerciais possuem [37].

O filtro é distribuído em dois grupos de equações: equações de atualização temporal e equações de atualização da medição. As equações de atualização temporal antecipam o estado atual e as estimativas de covariância de erro para adquirir as estimativas, antes da próxima etapa. As equações de atualização da medição integram uma nova medição na estimativa *à priori* e assim obtém uma melhor estimativa *à posteriori* [37].

Os sinais transmitidos pelos sensores inerciais, são transformados no algoritmo avançado de fusão de sensores, designado *Moven Fusion Engine*, fornecendo valores absolutos de orientação, que são utilizados para transformar as acelerações lineares 3D

em coordenadas globais, que por sua vez dão origem aos segmentos do corpo, que vão ser registados no modelo biomecânico que vai ser a base para efetuar a análise do movimento da marcha [34].

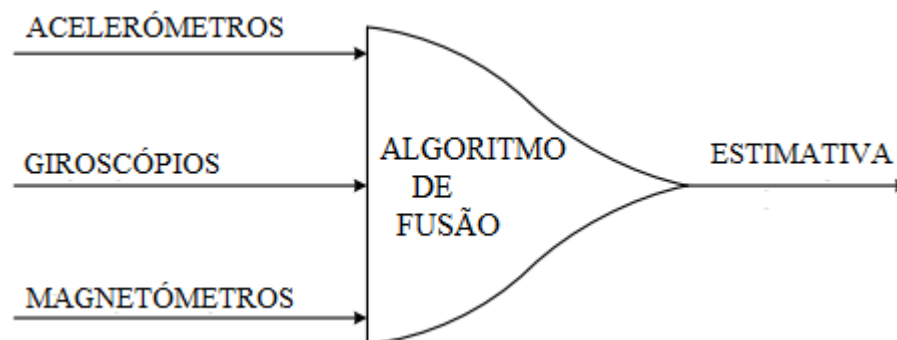


Figura 2.20 – Esquema da fusão dos sensores de forma a se adquirir uma melhor estimativa e uma redução substancial dos erros nos dados angulares (adaptado de [38]).

Em comparação com outros sistemas de aquisição de dados, nomeadamente, sistemas de tecnologia ótica, surgem vantagens relevantes como é o caso de que os sensores inerciais não apresentam oclusões nem marcas inexistentes, nem trajetórias múltiplas, nem são afetados pelas perturbações dos campos magnéticos, não necessitam da instalação de qualquer estrutura e obtêm ângulos articulares mais rigorosos e precisos. Devido ao fato de serem altamente móveis, estes sensores permitem a realização de recolhas cinemáticas, dos segmentos corporais, fora do contexto laboratorial, o que quer isto dizer que este sistema possui uma enorme capacidade de se adaptar a ambientes delicados e exteriores a laboratórios, sendo um sistema capaz de recolher dados de movimento em clínicas de reabilitação, hospitais, ambientes simulados ou pavilhões e campos desportivos [11].

Os sensores inerciais possuem desvantagens que se relacionam com a calibração dos sensores, com os erros relacionados com o movimento, nomeadamente relativos aos tecidos moles e uma vez que os cálculos são feitos nos sensores inerciais, eles devem conseguir realizar a estimação dos valores em tempo real, precisando de uma linguagem de programação bastante complexa [39]. Além destas desvantagens e apesar dos sensores inerciais conseguirem perceber qual a posição e orientação uns em relação aos outros, não tem recursos para calcular as posições relativas e as orientações com precisão em relação ao referencial global [11].

2.3.3. Acelerómetros

O método de análise cinemática que faz uso do acelerómetro para medir as acelerações que o corpo humano sofre ou desencadeia define-se por acelerometria e é geralmente empregue em análise do movimento humano [40].

Em circunstâncias clínicas, a aceleração geralmente é usada para descrever o movimento do ser humano em relação à execução de tarefas e dessa maneira possibilita a perceção de ganhos ou perdas relativos ao processo de reabilitação do utente [41].

Ao longo dos últimos tempos, é perceptível a presença dos acelerómetros em diversos estudos e investigações científicas. São vários os estudos que apontam para a utilização dos acelerómetros na análise do movimento humano, entre outros pode-se destacar o seu uso na monitorização do controlo da atividade física, na avaliação, em reabilitação neurológica, de pequenos ganhos ou afastamentos dos padrões normais dos movimentos ou ainda na deteção da queda de idosos ou pessoas com mobilidade limitada. O uso dos acelerómetros em comparação com outros sistemas torna-se uma prática de custos bastante reduzidos e com processos bastante funcionais [42].

O acelerómetro tal como o nome indica, é o dispositivo responsável por medir as acelerações de determinado corpo, tendo uma estrutura que se baseia na suspensão de uma massa inercial através de uma mola. Os acelerómetros além de serem componentes adequados para a mensuração das acelerações num ou em diversos eixos, são mecanismos apropriados para a obtenção de padrões normais como de padrões patológicos uma vez que conseguem realizar medições do movimento do corpo ao longo dos planos anatómicos [40].

Na análise do movimento humano, torna-se bastante vantajoso utilizar os acelerómetros uma vez que os mesmos possuem benefícios como: um custo bastante baixo em relação aos equipamentos normalmente empregues na análise biomecânica, um baixo gasto energético, por serem de pequenas dimensões os movimentos podem ser realizados sem nenhuma limitação, é um sistema capaz de realizar aquisição de dados no exterior do contexto laboratorial e não é necessário um processamento complexo para se obterem os resultados dos acelerómetros pois estes são prontamente disponíveis. É devido a estes benefícios, referentes à utilização de acelerómetros, que o uso dos mesmos na análise do movimento humano tem suscitado um enorme interesse e tem

apresentado um crescimento bastante relevante [43, 44, 45].

A reação à frequência e à intensidade do movimento, são vantagens de extrema importância que os acelerómetros detêm em relação a outros dispositivos de aquisição de dados do movimento [46].

2.3.4. Giroscópios

Pode-se definir um giroscópio como sendo um corpo sólido com capacidade para girar a velocidade elevada à volta de um eixo que passa por um ponto, podendo esse ponto ser o centro de massa desse corpo ou um ponto que se encontra fixo. O giroscópio é um dispositivo que mede a velocidade angular e pode ser usado para medir a orientação dos segmentos corporais no espaço, possuindo como elemento fundamental um disco com uma largura considerável ou um anel compacto a rodar em velocidade elevada [35].

Das diversas utilizações onde o giroscópio pode ser empregue destaca-se a análise do movimento humano e a performance desportiva. Dentro dos vários tipos de giroscópios, o ideal para aquisição de dados da marcha do ser humano é o giroscópio vibratório, pois as suas características como: o baixo peso, o custo reduzido, o gasto energético e a sua dimensão, fazem com que este seja o apropriado a utilizações portáteis [30].

Tal como acontece nos acelerómetros, também nos giroscópios a massa inercial está suspensa através de uma mola e a leitura é realizada por meio de um sistema capacitivo. Quando se roda o giroscópio, a rotação pratica uma força perpendicular na massa, que é mais elevada quando a massa se encontra mais afastada do centro da rotação. É desta maneira que a massa adquire uma leitura distinta nos dois lados da oscilação [47]. Existem já laboratórios de análise de movimento que fazem uso dos giroscópios sem nunca descurar uma aposta no progresso e no desenvolvimento destes dispositivos para utilizações futuras e inovadoras na área do movimento humano.

2.3.5. Magnetómetros

Pode-se definir magnetómetro como sendo um dispositivo que é composto por um sensor de campo magnético com capacidade para ser empregue na medição das forças e das direções dos campos magnéticos ao redor do magnetómetro. Dos vários tipos existentes de magnetómetros e por possuírem um consumo energético baixo, por serem de pequenas dimensões e devido à sua sensibilidade os mais comuns são os magnetómetros por magneto indutivo e os magnetómetros de efeito de Hall [48].

2.4. Análise Cinética

A análise cinética é, tal como a análise cinemática, um dos recursos que possibilita o estudo do movimento humano e que tem contribuído para uma melhor perceção referente ao mesmo. O movimento inclui forças internas e externas que podem ser estudadas através desta técnica. Entre outras, são fonte de forças internas a ação muscular, os ligamentos, as articulações e a fricção entre os músculos. Na marcha humana as principais forças externas são a FRS, as forças externas ao peso corporal do indivíduo e a força de resistência do ar à progressão do indivíduo. As variadas componentes da FRS são normalmente obtidas através da utilização de plataformas de força. É possível obter através da análise cinética os dados relativos às forças de reação nas articulações, aos momentos articulares, à potência mecânica e ao trabalho mecânico [22].

Dentro do grupo das forças externas, a FRS é a força externa que mais tem despertado o interesse na análise biomecânica da marcha [26]. A FRS é uma força que exerce ação na superfície de contacto para o objeto com que se encontra em contacto [49]. A FRS resulta das ações dos músculos e do peso corporal transferido pelos membros inferiores, nomeadamente os pés, onde a direção e a magnitude do movimento do centro de massa corporal corresponde de forma rigorosa tanto à direção como à magnitude da FRS [49].

Os momentos articulares e as potências mecânicas são considerados como sendo a informação mais importante da análise biomecânica da marcha.

É comum o recurso à dinâmica inversa para se efetuar o cálculo da cinética. A dinâmica inversa faz uso da informação cinemática do movimento (velocidades e acelerações angulares e lineares), dos registos antropométricos dos segmentos corporais do indivíduo (centro de massa, massa, momentos de inércia e medidas dos segmentos corporais) e das forças externas infligidas ao indivíduo em movimento (forças de reação do solo produto da interação entre o pé e o solo) de forma a obter o cálculo dos momentos articulares e das forças de reação [22].

2.4.1. Plataforma de Força

Devido ao fato das plataformas de força serem empregues na mensuração das diversas componentes das forças de reação ao solo, durante a marcha, nos três eixos, estas têm sido alvo de numerosos estudos correspondente ao relevo que têm apresentado na descrição dos padrões da marcha normal e da marcha patológica. Atualmente as plataformas de força são um dos utensílios mais usados na análise cinética da marcha [7, 49].

A estrutura das Plataformas de Força (PF) é formada por duas superfícies rígidas, uma colocada superiormente e outra inferiormente, que são interconectadas por sensores de força. Existem diversos modos de construção da PF conforme a posição dos sensores, evidenciando-se três modos de construção, qualificando as plataformas em: plataforma somente com um sensor no centro, plataforma em forma de triângulo com sensores nos três cantos e plataforma em formato retangular contendo um sensor em cada um dos quatro cantos. Dentro das plataformas disponíveis no mercado, esta última plataforma é a mais utilizada para a análise cinética da marcha. As plataformas em forma de retângulo possibilitam a medição das três componentes da FRS (F_x , F_y e F_z) e das componentes do momento de força (M_x , M_y , M_z), onde cada um dos quatro sensores dispostos em cada um dos cantos da plataforma, regista a força aplicada em x , y e z que são respetivamente as direções médio-lateral, ântero-posterior e vertical, como se pode visualizar na figura 2.21 [49].

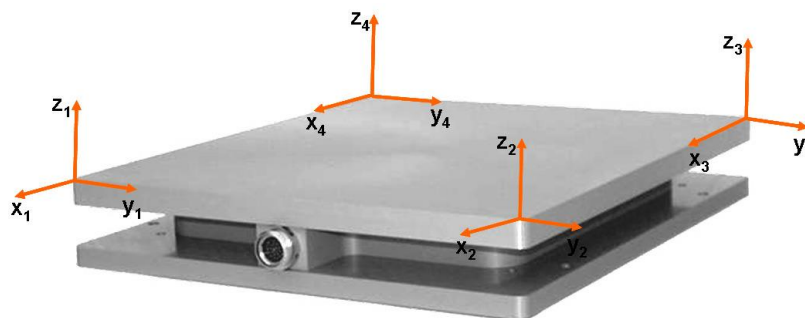


Figura 2.21 – Plataforma de força com o esquema de cada uma das forças obtidas por cada um dos quatro sensores presentes em cada canto da plataforma (adaptado de [49]).

A medição do conjunto das componentes da FRS e do momento de força, possibilita obter os cálculos das componentes de uma grandeza mecânica, de bastante relevo para a análise do movimento humano, denominada por Centro de Pressão (CoP). O CoP é definido como o ponto onde é aplicado o produto das forças, na vertical, atuando sobre a superfície da base da PF. A informação fornecida pelo CoP é referente a uma medida de posição determinada por duas das coordenadas situadas na parte superior da plataforma de força. As duas coordenadas serão reconhecidas em relação à direção adotada pelo indivíduo, que está em cima da PF, podendo ser uma direção ântero-posterior ou uma direção médio-lateral [49].

Existem elementos essenciais que juntamente com a PF e com o *software*, que obtém os dados da plataforma, são necessários para a aquisição dos dados cinéticos. São eles os seguintes: equipamento responsável pela amplificação e filtragem dos sinais adquiridos, equipamento que faz a conversão de analógico para digital que tem como tarefa converter o sinal analógico da PF para sinal digital para que o sinal obtido seja tratado pelo computador [49].

A aquisição de dados através da PF, pode ser considerada como uma das mais simples na análise biomecânica, uma vez que basta que o indivíduo pise a PF que a força aplicada sobre a mesma é tornada perceptível pelos sensores inseridos na plataforma e os sinais elétricos irão ser amplificados antes de serem registados no *software*. A figura 2.22 mostra o esquema usualmente utilizado para a obtenção de dados através da plataforma de forças. Os equipamentos interagem entre si através de cabos elétricos e de conexão.

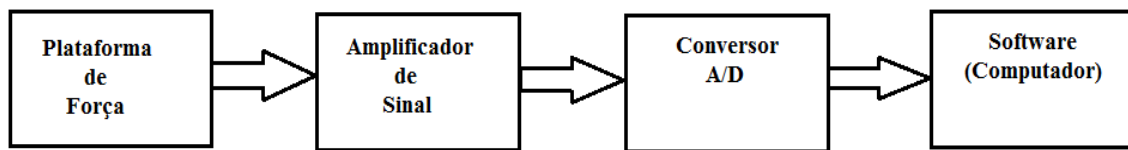


Figura 2.22 – Esquema frequentemente usado para aquisição de dados através de plataformas de força (adaptado de [49]).

De forma a se realizar a comparação e análise entre os dados obtidos por meio da PF entre indivíduos de diferentes condições patológicas, é fundamental que a amplitude dos dados adquiridos seja normalizada. A partir do registro do peso do indivíduo, é possível realizar-se essa normalização, uma vez que os dados obtidos do indivíduo, na plataforma de forças, serão divididos pelo seu peso, ou seja, é fundamental conhecer-se o peso do indivíduo para que esse valor seja utilizado na obtenção da normalização da amplitude dos dados adquiridos [49].

Além do seu custo elevado, algumas das desvantagens aliadas à utilização das plataformas de força dizem respeito ao número despropositado de passos que o indivíduo terá de dar para a aquisição de dados e à circunstância referente à modificação do padrão de marcha, por parte do indivíduo, para que os passos dados ocorram sobre a plataforma [50].

2.5. Fontes de erro instrumental e experimental

Apesar da análise biomecânica da marcha ser um processo com um nível de importância bastante elevado no tratamento das limitações e das diversas patologias que afetam a marcha dos utentes, surgem porém vários fatores e fontes de erro referentes à utilização dos sistemas de análise do movimento humano e que restringem um maior uso à aplicabilidade clínica [51].

Na área da análise do movimento humano, é de grande importância adquirir conhecimentos acerca de como os diversos erros se apresentam nos dados cinemáticos ou durante a aquisição dos mesmos através das mais variadas tecnologias de aquisição de dados [51]. Os erros presentes na aquisição dos dados do movimento ou no seu tratamento são os seguintes: Erros instrumentais, Erros referentes ao movimento

associado aos tecidos moles e Erros na disposição das marcas e *clusters* anatómicos de forma rigorosa no corpo do utente [52, 53, 54].

2.5.1. Erros instrumentais

É de extrema importância saber de que forma é que os erros instrumentais se propagam nos dados cinemáticos e como é possível melhorar a fiabilidade e rigor das medições efetuadas. Soluções relacionadas com a calibração da câmara, filtragem e suavização dos dados da posição da marca são capazes de lidar com erros aleatórios e com fontes internas sistemáticas e por isso são apresentadas como soluções relevantes capazes de lidar com as dificuldades resultantes destes erros [52].

Antes de cada recolha de dados existem algumas recomendações referentes a ações de calibração do sistema de câmeras, ações de filtragem e ainda ações de suavização dos dados da posição da marca [52].

São várias as fontes que afetam as medições cinemáticas, acabando por originar erros nas coordenadas da marca. Estes erros podem ser classificados em: Erro sistemático instrumental (ISE) e Erro aleatório instrumental (IRE). Os erros ISE estão associados a um modelo de sistema de medição de validade limitada devido a imprecisões de calibração ou a não-linearidades que essa calibração não poderia reparar enquanto os erros IRE estão associados, entre outros, ao ruído eletrónico, às marcas de cintilação, a imagens das marcas parcialmente cobertas, a fusão das marcas umas com as outras ou ainda a sinais inexistentes, resultantes de uma iluminação estroboscópica de outra câmara pertencente ao sistema de câmeras [52].

Atualmente, os esforços que têm sido realizados para diminuir o ruído relacionado com os instrumentos direcionaram-se para a avaliação e compensação de artefactos experimentais correspondentes ao movimento de tecidos moles e falta de precisão relativa à identificação dos pontos anatómicos [52].

De forma a se obter uma medição válida e fidedigna da análise do movimento humano, devem ser implementadas e seguidas diferentes regras gerais para todos os protocolos. Por facultarem uma facilitada representação da reconstrução do modelo, em comparação com outras regras, as regras a serem seguidas foram fornecidas por Aurelio

Cappozzo et al. e seguidamente destacam-se algumas destas regras [55]: Cada uma das marcas deve estar no interior do campo de visão de pelo mínimo duas câmeras; as marcas presentes no mesmo segmento devem ser distribuídas de forma adequada minimizando a propagação de erros posicionais de orientação óssea; a movimentação existente entre as marcas e os ossos que estão por baixo destes deve ser bastante reduzida; a colocação das marcas e dos *clusters* nas eminências ósseas e nos segmentos anatómicos do indivíduo deve ser um procedimento seguro, fácil e de curta duração.

Os erros instrumentais podem surgir em qualquer um dos níveis da cadeia de medição e são lidados por diversos processos de compensação que são utilizados de forma rotineira nos laboratórios de análise de movimento humano. É possível reduzir os erros instrumentais referentes a fenómenos de distorção ótica através dos processos de calibração da câmara enquanto através de um *software* específico é possível cuidar do processamento da imagem da marca e do manuseamento das marcas inexistentes [52].

2.5.2. Erros referentes ao movimento associado aos tecidos moles

Um artefacto pode ser definido como sendo o resultado da deformidade e do deslocamento da pele que provoca o movimento da marca em relação ao osso subjacente. Este movimento que origina os artefactos de tecidos moles (STA) é responsável por ser a principal fonte de erro na análise do movimento humano.

Existem dois tipos de técnicas delineadas para diminuir a contribuição destes erros e suprimir os efeitos dos artefactos de tecidos moles, são elas as seguintes: modelo da superfície da pele e técnicas que incluem constrangimentos dos movimentos articulares [53].

De forma a compensar eficazmente os erros de STA, Leardini et al. [53] sugerem que ou o padrão específico do indivíduo é calculado através de exercícios *ad hoc* ou exprime-se através de um relevante conjunto de medições de diversas populações de sujeitos. Opcionalmente a introdução de constrangimentos nas articulações numa perspetiva mais frequente de minimizar os STA, pode originar uma solução adequada [53].

O erro respeitante aos artefactos dos tecidos moles é resultante de diversos fatores que contribuem de forma autónoma para originar STA, são eles os seguintes [53]: movimento entre as marcas e o osso subjacente, efeitos de inércia, deformidades e deslocamentos da pele que ocorrem mais frequentemente em zonas mais perto das articulações e ainda deformações geradas por contrações musculares.

Quando são solicitadas análises do movimento articular mais pormenorizadas é bastante preocupante o efeito crítico que os movimentos instáveis dos tecidos moles provocam nas marcas colocadas na superfície da pele do utente. A partir daí têm vindo a surgir diversos estudos que definem protótipos e grandezas de STA.

Em Leardini et al. [53] é possível visualizar um conjunto desses estudos que apresentam uma desmedida quantidade de dados que permitem representar a quantidade e os efeitos do STA nos membros inferiores.

Contudo e apesar da diferença de valores apresentados, devido às variadas posições das marcas assentes na pele e devido às diversas técnicas usadas podem-se retirar as seguintes conclusões mais gerais: os erros derivados do STA são os que ocorrem em maior número; em cada um dos indivíduos o STA é evidenciado de maneira diferente; os artefactos de tecidos moles admitem erros aleatórios tal como sistemáticos; é no segmento coxa que o STA se manifesta mais do que em qualquer outro segmento anatómico [53].

Para a tomada de decisão clínica deve estar bem compreendida a interpretação dos dados relevantes tal como a sensibilização e os efeitos deste fenómeno crítico. Seja qual for a investigação a decorrer num futuro próximo, deve ter como objetivo avaliar de forma fidedigna um movimento articular com uma base de limitação de seis graus de liberdade contendo processos aprimorados para tratar dos STA. A ação ideal passa pela identificação dos modelos estruturais do STA e realizar experiências que possibilitem a sua calibração, isto é, aplicação da indicação exata dos parâmetros do modelo ao indivíduo específico e à ação motora a ser examinada [53].

2.5.3. Erros na disposição das marcas e *clusters* anatómicos

De forma a determinar a fidedignidade intra e inter-observador é bastante importante avaliar as consequências das diversas fontes de erro na cinemática articular.

No estudo realizado por Della Croce e pela sua equipa de investigação [54], é sugerido que, devido à importância que esta fonte de erros possui na resolução da cinemática articular, várias soluções e hipóteses inovadoras devem ser estudadas de forma a aperfeiçoar a fiabilidade da indicação exata dos eixos articulares [54].

A identificação das marcas anatómicas tal como a sua calibração, isto é, reconstrução da sua posição num conjunto de eixos selecionado, é uma matéria bastante relevante no estudo do movimento humano [54].

São três os fatores fundamentais que podem causar a má localização das marcas anatómicas ósseas subcutâneas por meio da palpação, são eles: as marcas anatómicas palpáveis podem ser confundidas com pontos mas são superfícies algumas vezes grandes e desiguais; uma camada de tecido mole de espessura e constituição inconstante circunda as marcas anatómicas; a correta identificação da localização das marcas anatómicas deriva do processo de palpação usado [54].

Na literatura, encontram-se em pequeno número os estudos que tratam de abordar os efeitos da descrição errada de eixos comuns e consequentemente a indeterminação na localização das marcas anatómicas na definição da cinemática articular. Contudo, as ilações retiradas dos estudos foram referenciadas como sendo um aviso para a investigação da comunidade biomecânica sobre a utilização de informação acerca dos ângulos menores dos dados da cinemática articular [54]. Existem duas soluções que são formas de como o problema pode ser resolvido: a primeira passa por reduzir a incerteza da indicação exata da localização da marca anatómica, a segunda passa por reduzir os efeitos da indeterminação da indicação exata da direção do segmento e consequentemente da cinemática articular. A resolução descrita na primeira abordagem refere o uso de técnicas para assinalar as posições medidas das marcas anatómicas com o auxílio de um modelo de disposição das marcas anatómicas que pode ser adquirida usando técnicas de imagem, isto para além da utilização de minuciosas

normas de palpação. A resolução descrita na segunda abordagem, exige a diminuição da sensibilidade do *frame* anatômico à indeterminação da marca anatômica [54].

Della Croce et al. referem que uma diminuição dos erros pode ser obtida através de melhorias incrementadas no método de identificação da marca anatômica, utilizando técnicas de imagiologia, por meio da introdução de um maior número de marcas anatômicas, na determinação do *frame* anatômico, do que as normalmente usadas e empregando as regras de determinação do *frame* anatômico menos suscetíveis à indeterminação da marca anatômica [54].

Uma das particularidades benéficas que advém das técnicas de obtenção de dados desenvolvidas para serem utilizadas na análise clínica da marcha está ligada com a diminuição da quantidade de marcas [54].

Este fator foi ordenado pelas restrições presentes nas ferramentas de processamento que estavam à disposição e também pelo baixo número de câmeras com que os laboratórios de análise de movimento se deparavam no passado. Atualmente e devido à existência de laboratórios de análise de movimento com um maior número de câmeras e *software* extremamente desenvolvidos, vários objetivos complementares podem ser alcançados com uma menor complexidade somada à técnica de aquisição [54].

Através da compilação dos protocolos num documento único intrínseco à utilização de todos os utilizadores, é espetável que os erros instrumentais e laboratoriais sejam diminuídos de forma substancial pois todos os membros do laboratório seguem as mesmas *guidelines*, ou seja, todos os elementos seguem os processos de aquisição, análise e processamento que se encontram sistematizados e padronizados de forma a facilitar e eliminar o maior número de erros instrumentais e experimentais possível.

Capítulo 3

3. Metodologia

De forma a atingir os objetivos propostos neste estágio de investigação curricular, neste capítulo iremos explicar como é que se realizou todo o trabalho, iremos apresentar uma visão detalhada da plataforma digital selecionada, a plataforma Wiki, os seus requisitos funcionais, a sua arquitetura, as suas extensões da plataforma e os seus níveis de acessibilidade e usabilidade. Relativamente à compilação do protocolo vamos ainda explanar qual a estrutura que os mesmos apresentam e quais os sistemas utilizados para a aquisição de dados da marcha.

3.1. Plataforma para compilação dos protocolos

Uma das justificações para a escolha do conceito Wiki é fundamentada pelo fato de ser uma ferramenta *online* que permite de forma bastante facilitada e sempre que os utilizadores desejarem, a criação e edição de conteúdo informativo, possibilitando aos elementos do laboratório uma escrita colaborativa. Além da edição dos documentos, através desta ferramenta os utilizadores poderão organizar, estruturar e sistematizar informação pertinente através de *links* internos. Esta ferramenta permite a criação de novas secções e permite ainda de forma bastante fácil a criação de *links* externos para documentos de apoio. Além disso esta ferramenta permite o repositório de dados e de documentos essenciais para as curvas de aprendizagem dos novos cerca de 10 a 15 novos utilizadores/ano que são recebidos em média no laboratório, permitindo a estes aceder aos documentos de apoio sempre que pretenderem e realizar o *download* dos mesmos sempre que quiserem, bastando para isso estabelecer uma ligação à internet.

Além das justificações descritas em cima, a escolha do conceito Wiki é também justificada pelo fato de ser uma página que serve na perfeição a apresentação, visualização e edição dos protocolos compilados de forma facilitada e com um índice com *links* internos para as diversas fases do protocolo. De seguida são descritas as

vantagens e potencialidades representativas da plataforma Wiki.

Criado por Ward Cunningham, o conceito Wiki ficou conhecido através do exemplo mais popular, o aparecimento da Wikipédia. A Wikipédia é uma enciclopédia *online*, absolutamente livre, escrita numa linguagem pré-estabelecida que é traduzida posteriormente em HTML, onde os próprios utilizadores que navegam na internet, podem-se tornar autores da enciclopédia, sendo peritos, ou não, em determinadas matérias podendo visualizar, consultar, editar e partilhar conteúdos e informação, sempre que pretenderem, colaborando para uma partilha de conhecimento elevada e relevante [1].

O Wiki é um *software* de fácil utilização, que proporciona aos diversos utilizadores a possibilidade de: edição de informação, acrescentar matéria relevante, eliminação de conteúdo, partilha de conhecimento e ainda criação e edição de documentos de forma colaborativa na *web*. Sendo o conceito Wiki uma noção colaborativa, os pressupostos deste conceito estão relacionados com as premissas referidas em cima mas também com o fato de ser possível a exibição de ideias, assuntos, juízos e opiniões que de forma colaborativa são princípios importantes para a conceção de documentos colaborativos [1, 2, 56].

Através do Wiki, torna-se possível observar o histórico das versões antigas de uma página fazendo com que seja mais fácil recuperar de situações de pirataria ou de destruição da página tal como resgatar uma versão antiga e troná-la na versão atual ou ainda para conferir as modificações realizadas [1].

Através de diversos autores [2, 56] é possível realizar uma descrição das potencialidades intrínsecas aos Wikis, nomeadamente:

- Possibilidades dos vários utilizadores interagirem e colaborarem de forma ativa;
- Permissão para os vários utilizadores criarem de forma colaborativa diversas estruturas de informação ou conhecimento partilhado que premeiam pela geração de comunidades de aprendizagem;
- Criar ou editar glossários, manuais, dicionários, textos, informações, repositórios de dados e de documentos;
- Possibilidade de visualizar o histórico das alterações;

- Acesso responsabilizado à plataforma através de um registo que fornece permissão para criação, edição e eliminação de informação, texto e conteúdos;
- Através do acesso à plataforma todos os utilizadores têm a possibilidade de trocar ideias, criação de aplicações e indicar planos de trabalho para traçar objetivos específicos.

3.1.1. Requisitos Funcionais da Plataforma

Como já foi dito anteriormente, a Wiki é uma plataforma digital dirigida para utilizadores que pretendem desenvolver o seu trabalho de forma colaborativa. Em [56] é possível encontrar referência a diversos estudos que relatam os bons resultados obtidos através da utilização do Wiki nas mais variadas situações, devendo-se este êxito ao fato desta plataforma obedecer a uma série de requisitos funcionais bastante simples tais como:

- A sua facilidade de instalação e de utilização;
- Possui uma interação acessível e apelativa;
- É uma plataforma livre de custos, permitindo que os conteúdos estejam disponíveis de forma gratuita;
- É uma linguagem de *open source*;
- Compatibilidade com diversos sistemas operativos o que permite correr de forma bem-sucedida em todos os *browsers*;
- Permite a implementação de vários níveis de acesso (Visitante, Utilizador, Administrador), ou seja, limitando a edição e criação de informação, conteúdos, seções, páginas, etc., apenas para utilizadores registados;
- Permite de forma colaborativa a criação de um repositório de dados e de documentos com informação e matéria relevante;
- Permissão a todos os utilizadores a hipótese de interagirem entre si, criando documentos relevantes para diferentes áreas de estudo bem como uma construção colaborativa de conteúdos, de novas páginas e seções e ainda permite de

forma bastante fácil a criação de *links* externos para documentos de apoio;

- Como é uma plataforma presente na *web*, os diversos utilizadores podem trabalhar nos diferentes projetos sempre que desejarem e aceder, editar e eliminar informação sempre que pretenderem bastando para isso possuírem um dispositivo com ligação à internet;
- A plataforma Wiki permite ainda a sistematização da informação, transformando-se facilmente numa plataforma de aprendizagem.

3.1.2. Análise de outras ferramentas colaborativas

Neste subcapítulo abordamos outras possíveis soluções semelhantes ao conceito Wiki e que igualmente poderiam ter sido selecionadas se correspondem-se na sua totalidade às necessidades tidas em conta.

Foram escolhidas três ferramentas de escrita colaborativa *online* com propriedades semelhantes ao conceito Wiki: Google Docs, Editorially e a Zoho Office.

3.1.2.1. Google Docs

Outra das plataformas digitais de escrita colaborativa *online* é o Google Docs. Desenvolvida pela Google, esta aplicação é composta por um processador de texto, por um editor de folhas de cálculo e por um editor de slides de apresentação. Esta ferramenta além de permitir o acesso e a partilha dos ficheiros originados permite ainda que diversos utilizadores possam editar um documento em simultâneo [2, 56]. Tal como a plataforma Wiki, o Google Docs é de fácil utilização, é uma estrutura gratuita com acesso através de qualquer *browser* e onde qualquer utilizador pode fazer edições *online* num documento de forma colaborativa.

Os documentos em que os diversos utilizadores estão a trabalhar, não são armazenados no computador de cada um, mas sim nos servidores da Google, podendo desta forma o Google Docs ser definido como um Microsoft Office destinado ao trabalho colaborativo *online*, fazendo assim com que os utilizadores possam editar os

seus documentos a partir de qualquer parte, sempre que desejarem, bastando para isso estarem conectados à internet. Os vários utilizadores podem ainda, através do Google Docs, carregar ou descarregar ficheiros nos diversos formatos mais usuais (ex.: PDF, HTML, RTF, ZIP, DOC, XLS) [57, 58, 59].

Ao contrário da Wiki, este tipo de ferramentas está mais virado para a elaboração de ficheiros de texto, de apresentações temáticas e de ficheiros de cálculo, de forma colaborativa, não possibilitando muito a elaboração de informação sistematizada através de índices com ligações para os diversos subcapítulos ou até mesmo em sistematizar as informações, ou ainda em criar seções onde possam estar incluídos documentos de apoio, ou ainda arquivos de outras matérias de estudo interessantes para o projeto. O Google Docs ao contrário do conceito Wiki não permite a implementação de vários níveis de usabilidade, ou seja, todos os utilizadores têm acesso a editar conteúdo nem permite a visualização do histórico das alterações.

3.1.2.2. Editorially

O Editorially é outra das ferramentas de escrita colaborativa *online*, totalmente livre de custos e que permite a edição de um documento de forma colaborativa. Ao contrário do Google Docs que dirige o seu foco para o processamento de texto, para as folhas de cálculo e para as apresentações temáticas, o Editorially foca-se única e exclusivamente na elaboração do texto. Através da ligação à internet os diversos utilizadores podem criar, editar, partilhar e analisar tudo o que foi escrito no documento. Apesar de não possuir capacidade como a Wiki para originar diversos níveis de usabilidade, para criar seções para repositório de documentos de apoio ou para carregar *links* externos, uma das grandes vantagens do Editorially é o fato de se poder visualizar ao longo de uma linha cronológica, as diversas versões do documento e se os utilizadores desejarem é possível realizar comparações entre elas, os comentários inseridos e ainda os excertos do texto destacados. Esta ferramenta permite que todos os utilizadores armazenem os seus ficheiros de forma *online* com saídas para a plataforma Dropbox ou para o WordPress [60].

3.1.2.3. Zoho Office

A Zoho Office é outra das ferramentas de escrita colaborativa *online* que mais se destaca, caracterizando-se por possuir uma série de aplicações que cada um dos utilizadores pode usufruir de acordo com o objetivo final. Além de permitir todas as funcionalidades que as outras ferramentas possibilitam, a Zoho Office destaca-se pelo fato de permitir aos seus utilizadores, a conceção, projeção, planificação e ainda fazer a gestão de projetos. O processador de texto, uma das aplicações desta ferramenta, permite que os diversos utilizadores visualizem, editem e explorem informação nos documentos, mesmo em modo *offline*, podendo sincronizar o Microsoft Word com esta ferramenta e quando se estabelecer a ligação à internet o documento será sincronizado de forma automática. Esta ferramenta permite ainda aos diversos utilizadores, a importação e o *download* de documentos, a partir do computador pessoal, de outro sítio da internet e ainda de outras ferramentas de escrita colaborativa *online* [61].

3.1.3. Arquitetura da Plataforma

Antes de se dar início à instalação da plataforma Wiki – MediaWiki – onde foi desenvolvida a página Wiki do laboratório, é necessário certificar-se que se obedece a uma série de requisitos, a saber [62]:

- Adquirir um servidor web como o Apache ou o IIS, com um acesso local ou através de uma linha de comando é imprescindível para executar os *scripts* de manutenção e para exibir as páginas requeridas no *browser* do utilizador;
- Utilizar a versão 5.3.2 da linguagem PHP ou outra versão mais avançada. É recomendado o uso a partir da versão PHP 5.3.5 de forma a evitar problemas de segurança. A utilização da linguagem PHP é fundamental para correr o *software*, uma vez que é a linguagem de programação na qual a MediaWiki está escrita;
- Adquirir um servidor de base de dados. É recomendado o *download* de um das quatro bases de dados enunciadas, o MySQL, o PostgreSQL, SQLite ou o Oracle. O servidor de base de dados é essencial para depositar os dados e as páginas da MediaWiki.

A plataforma MediaWiki coloca à disposição do utilizador, um guia de instalação que apresenta informações sobre como instalar e configurar de forma manual o MediaWiki num servidor web.

Disponibilizamos aqui o guia rápido que foi utilizado para a instalação desta ferramenta, podendo o leitor através da referência [62] ter acesso a um guia mais completo de instalação:

1. Confirme que o sistema obedece aos requisitos mínimos.
 - a. Os requisitos mínimos indicados são de um *hardware* com 256 MB de RAM para um site com um único computador e com 85 MB de armazenamento, apesar de ser insuficiente para um site de domínio público ou para um site com transferência de ficheiros ativa.
2. Realize o *download* da *MediaWiki* e faça a extração do arquivo para uma pasta que possa ser acessível via *web* no servidor adquirido.
3. Direcione o seu *browser* para a diretoria onde foi realizada a extração do *MediaWiki* e prossiga para a janela de configuração, que deve-se encontrar na seguinte forma: `http://[domain]/[directory]/mw-config/index.php`. Deverá fazer a alteração do `[directory]` com o caminho para a diretoria onde foi extraído o *MediaWiki*. Se a instalação do *MediaWiki* se realizar num computador local, substitua `[domain]`, por `[localhost]`. A Wiki instalada num computador local vai necessitar do ficheiro `LocalSettings.php` alterado de `[localhost]` para `[domain]` de forma a conseguir aceder ao Wiki desde este domínio, se tal não fosse realizado, nunca conseguiria aceder desde este domínio. Se o Wiki for instalado a partir de um servidor remoto, altere o domínio para o nome do domínio do servidor.
4. De forma a concluir o processo de instalação, basta seguir as instruções que irão surgir na janela.

3.1.4. Plataforma MediaWiki

Esta plataforma Wiki tem o seu exemplo mais comum na utilização da Wikipédia. A MediaWiki é um *software* estabelecido num servidor gratuito pensado para ser lançado num site que recebe uma quantidade bastante elevada, de acessos por dia. É um *software* totalmente gratuito de *open source* que utiliza implementações Wiki

abundantes em linguagem PHP de forma a tratar e mostrar os dados armazenados numa base de dados como por exemplo o MySQL [63]. Outras das propriedades deste *software* é o fato de que as páginas do mesmo usam formato de texto Wiki para que desta forma, os utilizadores que não detenham conhecimentos suficientemente abrangentes sobre as linguagens XHTML ou CSS consigam realizar as edições das páginas de forma facilitada [63].

Relativamente a essas edições, quando o utilizador procede à edição de uma página, o *software* MediaWiki grava essa versão atual da página na sua base de dados mas sem eliminar as versões antecedentes, possibilitando ao utilizador retroceder para uma versão anterior sempre que a página for alvo de ataques de pirataria ou de spam. Arquivos de imagem e de multimédia são suportados e geridos pelo *software* MediaWiki que guarda no seu sistema estes arquivos [63].

Em função das necessidades do Laboratório, tendo em conta o número considerável de elementos que o mesmo possui na sua equipa, a importância no tratamento e organização da informação para que todos os seus utilizadores possam aceder à mesma quando pretenderem e em qualquer altura, pretendeu-se escolher uma plataforma de escrita colaborativa *online* que preenchesse os pressupostos do Laboratório.

A escolha dessa plataforma *online* recaiu na plataforma MediaWiki e é justificada pelo fato de que através da mesma é possível e de forma facilitada efetuar as seguintes tarefas que vão de encontro ao que é pretendido pela equipa do Laboratório: realizar o registo de um número ilimitado de utilizadores, criar/editar texto e conteúdo informativo, carregar ficheiros, aceder e depositar a documentos de apoio, realizar o *download* de documentos, ficheiros multimédia e páginas, criar links internos e externo, criar documentos extensos com índices com ligações para cada subcapítulo.

3.1.4.1. Extensões MediaWiki

As extensões da MediaWiki são escritas em linguagem PHP e utilizam diversas classes e processos internos da plataforma de forma a executar da maneira mais eficiente possível as suas tarefas. Dentro destas tarefas é possível assinalar o acréscimo de novos relatórios e recursos administrativos através da produção de páginas especiais,

modificar o aspeto da Wiki através das formatações e ainda adicionar uma maior segurança através de processos de autenticação caraterísticos. [64].

Na tabela 3.1 é possível visualizarmos algumas das extensões mais relevantes da plataforma MediaWiki e a respetiva descrição:

Tabela 3.1 – Algumas extensões e respetivas descrições da plataforma MediaWiki.

Extensão	Descrição
PDFHandler	Esta extensão permite ao utilizador da Wiki ver os ficheiros de PDF em formato de imagem [65]
Upload PDF	Esta extensão ao ligar-se a outra, permite a conversão automática de ficheiros PDF em imagens de formato JPEG no decorrer do processo de carregamento. [66]
VideoPlayer	Esta extensão permite ao utilizador importar vídeos de diversos serviços de partilha e armazenamento de vídeos como por exemplo o YouTube, o Dailymotion, o Google Vídeos, a Dropbox, entre outros [67]
PHPTemplates	Esta extensão permite ao utilizador executar o código PHP agrupado em diversas páginas [68]
TranslatedPages	Esta extensão permite ao utilizador sincronizar a tradução de páginas fazendo uso de uma página base que pode estar em qualquer idioma [69]

3.2. Visualização e Edição dos procedimentos na plataforma

3.2.1. Níveis de Usabilidade

A página Wiki do Laboratório obedece aos três níveis de usabilidade que as plataformas Wiki usualmente cumprem. São eles os seguintes [1]:

- Visitante;
- Utilizador;
- Administrador.

O visitante é designado como o utilizador não registado na página da plataforma. Além de ter a possibilidade de visualizar o conteúdo da página, o visitante tem ainda a oportunidade de efetuar o registo na página. Após a realização do registo, o visitante pode realizar a sua autenticação, sendo agora designado por Utilizador e ter acesso às funcionalidades características de um Utilizador [1].

O Utilizador é designado como o usuário reconhecido pelo sistema e faz parte integrante da página. Além de ter a possibilidade de alterar as suas próprias definições, um utilizador pode visualizar o conteúdo da página, criar novas secções, criar e editar novos conteúdos na página e ainda visualizar o histórico das edições e alterações dos documentos [1].

O Administrador é designado como o criador e o responsável pela página, o que lhe permite adquirir poderes administrativos. O administrador da página é o utilizador que a concebeu e por isso é o único que possui autoridade para fazer tudo o que um utilizador faz acrescentando o fato de que tem poder para eliminar uma seção, um documento ou alterar a estrutura da página. O Administrador tem ainda autoridade para realizar o convite a novos utilizadores, para estes ingressarem na página [1].

3.2.2. Protocolos compilados

Na realidade, na maior parte dos documentos dos fabricantes já é possível encontrar-se em português e em inglês, informação relevante para a construção de protocolos, embora esta documentação esteja genérica e completamente espalhada pelos documentos dos diferentes fornecedores. Atendendo às necessidades da equipa multidisciplinar do laboratório, é fundamental a recolha desta informação relevante, organizá-la em tópicos de interesse, condensá-la e apresentá-la num único documento, capaz de expor os procedimentos de recolha, de processamento e de análise dos dados da marcha, sistematizados e padronizados para serem adaptados no laboratório. Destas

necessidades foi objetivo a compilação e adequação dos conteúdos para protocolos que neste momento se encontram desenhados para estandardizar os procedimentos de utilização de dois sistemas para recolha de dados da marcha, sistema de câmeras de infravermelhos e sistema de captura inercial e seis *software* que auxiliam nas tarefas de recolha, análise e processamento destes dados.

O desenvolvimento do protocolo abrange duas partes essenciais: uma primeira parte respeitante à recolha de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha e uma segunda parte referente ao processamento desses mesmos dados.

3.2.2.1. Sistema ótico de captura de movimento – OptiTrack

A Natural Point [82] é a empresa que mais fornece sistemas de captura de movimento em todo o mundo, oferecendo uma gama de equipamentos de rastreamento ótico com um elevado grau de eficiência, comercializando especialmente *software* de captura de movimento e câmeras de rastreamento com uma resolução e uma velocidade elevada. Cada uma das câmeras OptiTrack, do sistema de tecnologia ótica presente no Laboratório e que se pode visualizar na figura 3.1, possui uma resolução de 640 x 480 *pixels*, uma taxa de amostragem de 100 Frames por segundo (FPS) e uma latência de 10 milissegundos (ms) [70].

O *setup* de marcas retrorrefletoras e *clusters* é colocado em eminências ósseas e nos segmentos anatómicos no sujeito a ser monitorizado. As marcas colocadas no sujeito são articuladas para a modelação da orientação espacial 3D e da posição dos segmentos anatómicos, a partir da reconstrução do trajeto destas através da determinação de coordenadas 3D oriundas das diversas câmeras. O *software* da OptiTrack realiza os cálculos dos centros de cada uma das marcas, de forma automática e em poucos milésimos de segundos, e reconstrói a sua orientação no sistema de coordenadas global.



Figura 3.1 – Câmera OptiTrack (adaptado de [70]).

O sistema OptiTrack presente no Laboratório tem incluído 12 câmeras fixas no teto por um suporte que se encontra a cerca de 2,5 m do solo e onde as mesmas se encontram dispostas duas em cada topo da estrutura e quatro em cada parte lateral para que cada marca retrorrefletora, colocada na superfície da pele do indivíduo, seja observada simultaneamente pelo mínimo por duas câmeras durante o decorrer da atividade em estudo.

As marcas utilizadas foram especificamente produzidas para utilização no Laboratório, possuem uma forma esférica e são compostas por um copolímero, Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS), que é um material termoplástico, resistente, leve, com algumas componentes flexíveis e possui ainda resistência na absorção em caso de embate. Cada uma das marcas foi envolvida com uma fita adesiva retrorrefletora e serão dispostas sobre a pele do utente em segmentos, articulações e outros pontos anatómicos de referência. As câmeras de vídeo digitais, frequentemente apresentam estroboscópios junto à lente, que detêm a luz que recai nas marcas esféricas e é refletida de volta para as câmeras surgindo as marcas em forma de pontos brilhantes, evidenciando-se dessa maneira na imagem. Foram produzidas dois tipos de marcas esféricas. Umas com 15mm de diâmetro e outras com 20 mm de diâmetro e ambas podem ser observadas na figura 3.2.



Figura 3.2 – Marcas esféricas de ABS, cobertas com fita refletora, com 15 mm de diâmetro e com 20 mm de diâmetro respetivamente.

3.2.2.2. Sistema inercial de captura de movimento – Xsens

O sistema de plataformas inerciais presente no laboratório é o sistema Xsens, comercializado pela empresa Xsens Technologies. É um sistema inercial de captura de movimento, de corpo inteiro, que faz uso de 17 sensores de rastreamento (MTx's), cada um deles constituído por um acelerómetro triaxial, por um giroscópio triaxial, por um magnetómetro triaxial, por um sensor de temperatura e por um filtro de Kalman. Na tabela 3.2 é possível observar-se as especificações do sensor MTx utilizado no sistema Xsens.

Tabela 3.2 – Especificações do sensor MTx (adaptado de [81]).

Especificações	Descrições	Valores	Unidades
Dimensões	_____	38 x 53 x 21	mm (milímetros)
Peso	_____	30	g (gramas)
Acelerômetro	Intervalo de aceleração linear	± 180	m/s^2 (metro/segundo ²)
Giroscópio	Intervalo de velocidade de rotação	± 1200	grau/s (grau/segundo)
Magnetômetro	Erro	<0.5	grau ³
	Resolução	0.5	grau
Sinais adquiridos pelos sensores	Taxa de amostragem	60-120	Hz (Hertz)

Estes sensores, os cabos próprios que fazem a interligação entre os mesmos e os dispositivos que transmitem o sinal de todo o conjunto em tempo real, via Bluetooth, para dois recetores de sinal conectados com um cabo USB a um computador podem ser colocados num fato de Licra, que tem um peso total que não ultrapassa os dois quilogramas, ou então num *setup* de tiras de velcro [36]. A figura 3.3 mostra a localização dos sensores no fato de licra.



Figura 3.3 – Xsens – sistema inercial de captura de movimento (adaptado de [72]).

Os sensores incluem dados da direção e da disposição dos segmentos e eminências ósseas no SCG tal como os ângulos inter-segmentares, dados de aceleração, velocidade, aceleração angular e velocidade angular. O *software* do sistema Xsens, MVN Studio Pro, utiliza esses dados dos sensores para construir um modelo biomecânico, constituído por 23 segmentos anatómicos. As dimensões de cada um dos segmentos do modelo biomecânico são calculadas através das medições antropométricas realizadas no indivíduo ou introduzindo apenas a medição do tamanho do pé e da altura do indivíduo de forma a realizar a estimação das restantes dimensões antropométricas [36].

O sistema de captura de movimento inercial utiliza uma abordagem do filtro de Kalman de forma a retificar a propagação dos erros originados pela interferência do campo magnético e pelo deslocamento do sensor. Ao fazer-se uso de uma versão mais avançada do filtro de Kalman, é possível reduzir as dúvidas relativas à posição das articulações através da correção do deslocamento do sensor. De forma a determinar o ganho do filtro de Kalman utiliza-se tanto o ruído proveniente do sensor como os dados estatísticos referentes às restrições da articulação. Referentemente ao erro da orientação do segmento o mesmo é retificado através da designação e das componentes do vetor gravitacional a partir dos acelerómetros e magnetómetros no filtro de Kalman [36, 71].

Roetenberg et al. refere que as perturbações magnéticas no local através dos

objetos metálicos alteram o campo magnético da Terra, de forma muito fácil, que por seu turno causa imprecisões nas leituras dos magnetómetros. De forma a diminuir este tipo de erros, e para que os sensores possuam uma maior resistência contra as alterações magnéticas, um algoritmo de compensação é adicionado. Este algoritmo denomina-se por Kinematic Coupling (Kic) e serve-se das medições das interferências magnéticas do local para atenuar a ponderação do magnetómetro do deslocamento do filtro de compensação. Apesar deste meio de resolução fazer crescer a dúvida dos cálculos da direcção do segmento é através dele é possível suprimir quase na sua totalidade o erro originado, a curto prazo, pelas perturbações magnéticas [73].

3.2.2.3. Estrutura geral dos procedimentos

Após o levantamento e compilação dos atuais procedimentos empregues no Laboratório e de toda a informação disponível nos manuais de utilizador, documentos e páginas Wikis dos diversos fabricantes foi possível realizar a padronização dos procedimentos desse protocolo, através da divisão do mesmo em duas partes fulcrais, recolha e processamento de dados, estando estas duas partes divididas em: Procedimentos pré-aquisição, Procedimentos aquisição e Procedimentos pós-aquisição.

Existe uma série de procedimentos, próprios do Laboratório, que antecedem a aquisição dos dados cinemáticos e cinéticos, em contexto laboratorial, seja qual for a atividade a ser analisada ao longo de determinado estudo. No interior deste conjunto de procedimentos de pré-aquisição de dados incluem-se a preparação do espaço onde o indivíduo vai realizar a atividade em estudo, ou seja, onde se vai efetuar a recolha dos dados; a preparação das componentes relacionadas com o indivíduo em estudo, onde se inserem os preparativos necessários para a utilização do *setup* das marcas refletoras e dos *cluster*; a preparação do sistema a ser utilizado para a obtenção dos dados cinemáticos e cinéticos, ou seja, tarefas de ligação, configuração e de calibração do sistema de câmeras infravermelhos e das plataformas de força; ainda a preparação do *dossier* de investigação onde deve constar toda a documentação relativa ao estudo, dos descritivos pessoais à documentação aprovada pela Comissão de Ética.

Dentro do conjunto dos procedimentos de aquisição de dados incluem-se a confirmação do preenchimento dos descritivos pessoais referentes ao utente; a

colocação do *setup* de marcas e *clusters* no indivíduo nos pontos anatómicos e nos segmentos anatómicos colocados na superfície da pele do indivíduo; ainda a realização da aquisição de dados da recolha estática e dinâmica.

Relativamente aos procedimentos que se seguem à aquisição de dados incluem-se a extração do *setup* de marcas e *clusters*; o arquivo dos descritivos pessoais; a criação de uma pasta com os dados da recolha estática e da recolha dinâmica e realizar uma cópia desta pasta para efeitos de segurança; identificação do *setup* de marcas e *clusters* no *software* AMASS; ainda a junção dos ficheiros cinéticos e cinemáticos no *software* C3D Merge.

Existe uma série de procedimentos, próprios do Laboratório, que antecedem a aquisição dos dados cinemáticos, em contexto ambulatorio, seja qual for a atividade a ser analisada ao longo de determinado estudo. Neste conjunto inserem-se procedimentos referentes à preparação do *dossier* de investigação onde deve constar toda a documentação relativa ao estudo, dos descritivos pessoais à documentação aprovada pela Comissão de Ética; à preparação das componentes relacionadas com o indivíduo em estudo, onde se inserem os preparativos necessários para a utilização do *setup* das cintas e tiras de velcro, contendo os sensores inerciais, nos segmentos correspondentes; à preparação do sistema a ser utilizado para a obtenção dos dados cinemáticos, ou seja, tarefas de ligação, conexão e configuração do sistema de plataforma inercial a ser utilizado para a obtenção dos dados; ainda a realização das medições antropométricas devidamente registadas numa folha própria de registos.

Dentro do conjunto dos procedimentos de aquisição de dados incluem-se a confirmação do preenchimento dos descritivos pessoais referentes ao utente; a colocação do *setup* das cintas e tiras de velcro nos segmentos correspondentes; a calibração do sistema de recolha de dados; ainda a realização da recolha de dados.

Relativamente aos procedimentos que se seguem à aquisição de dados incluem-se a extração do *setup* das cintas e tiras de velcro, contendo os sensores inerciais; o arquivo dos descritivos pessoais; a criação de uma pasta com os dados da recolha de dados e realizar uma cópia desta pasta para efeitos de segurança; ainda a exportação dos dados para o formato passível de análise e tratamento num *software* específico de processamento de dados.

Os dados cinemáticos e cinéticos recolhidos em ambos os contextos, laboratorial

e ambulatório, necessitam de uma série de procedimentos de processamento. Dentro deste conjunto encontram-se as seguintes tarefas:

- Construção do modelo da marcha através do *software Visual 3D*

Após a junção dos dados cinéticos e cinemáticos, nos ficheiros estático e dinâmico da recolha de dados, dar-se-á início à fase de construção do modelo convencional da marcha através do *software Visual 3D*.

- Visualização do ficheiro dinâmico da recolha de dados no *Visual 3D*

Através do *software Visual 3D* e após a construção do modelo, é possível observar-se o modelo biomecânico aplicado ao ficheiro dinâmico e a atividade em análise desenvolvida pelo sujeito.

- Construção de comandos automatizados (Pipelines) através do *software Visual 3D*

Denomina-se como Pipeline, o conjunto de comandos do *Visual 3D* executados em série. O pipeline é usualmente utilizado para tornar automáticas as etapas do processamento onde cada comando vai realizar uma determinada função.

- Construção de relatórios gráficos através do *software Visual 3D*

Através do *software Visual 3D*, o utilizador tem acesso a uma opção relativa à construção de relatórios gráficos onde pode optar por incluir apenas gráficos 2D no seu relatório ou iniciar o mesmo com uma página dedicada às métricas distância-tempo, selecionando os itens de tempo e de distância que pretende ver no relatório e prosseguindo então para a construção de gráficos 2D.

- Construção de Dados normativos através do *software Visual 3D*

O utilizador pode optar por uma de duas escolhas para utilizar dados normativos. Primeira opção, descarregar o ficheiro contendo os dados normativos no tutorial da C-motion Plotting Normal Data ou segunda opção, criar um arquivo de dados

normativos utilizando a biblioteca CMO do *Visual 3D*.

3.3. Usabilidade da Plataforma

Sendo o Laboratório, um espaço que acolhe sempre diversos utilizadores, a página Wiki do laboratório foi planeada para que adquirisse um uso simplista, interativo, para que no futuro possa garantir os melhores níveis de usabilidade e permitir uma experiência de utilização útil por parte dos membros do Laboratório. Estas garantias são conseguidas através da criação de *links* externos para documentos e páginas, fora da estrutura Wiki do Laboratório, onde podem ser encontradas ferramentas e descritivos em como interagir com uma página Wiki e em repositórios de dados informativos e documentos organizados por tópicos de aprendizagem, através da criação de páginas.

Em relação aos protocolos compilados, estes também foram desenhados para garantir aos diversos utilizadores os melhores níveis de usabilidade e de aquisição de conhecimento, nomeadamente com a sistematização da informação, recolhida a partir dos manuais e das páginas Wikis dos fabricantes, com a padronização dos procedimentos que devem ser realizados e com ligações internas no próprio documento para cada uma das fases presentes nos protocolos.

Apesar de não ter sido realizada nenhuma avaliação objetiva (ex.: Escala de Usabilidade do Sistema (SUS)) da usabilidade, a estrutura proposta bem como os procedimentos compilados nos protocolos foram sendo continuamente testados pelos membros do Laboratório e o seu *feedback* recolhido e considerado na atual versão final.


Capítulo 4

4. Resultados

4.1. Plataforma para apresentação dos protocolos compilados

Tal como já foi referido para a apresentação dos protocolos compilados, a partir da informação disponibilizada nos manuais e páginas Wikis dos fabricantes, seleccionou-se a plataforma MediaWiki, que faz uso do conceito Wiki e que é fundamentada por ser uma ferramenta *online* que possibilita aos seus utilizadores, mediante autenticação, acederem à página sempre que desejarem e ter acesso a informação partilhada.

Na figura 4.1 é possível observarmos a *homepage* da página Wiki do Laboratório onde é igualmente possível visualizar as nove seções presentes na página e que serão detalhadas de seguida.



11

10 Autenticação

14

Página Discussão Ler Ver código-fonte Ver histórico

Human Movement Lab

(Redireccionado de Página principal)

Navegação 12

- [Página principal](#)
- [Portal comunitário](#)
- [Notícias](#)
- [Mudanças recentes](#)
- [Página aleatória](#)
- [Ajuda](#)

Ferramentas 13

- [Páginas afluentes](#)
- [Alterações relacionadas](#)
- [Páginas especiais](#)
- [Versão para impressão](#)
- [Link permanente](#)
- [Informações da página](#)

<p>Templates 1</p> <p>Slides Poster</p> <p>Bibliography and Citations 2</p> <p>Norm Examples CiteUlike EndNote Mendeley</p> <p>How to interact with wiki 3</p> <p>How to interact with wiki Basic Contents Page1 Template Page2 Template</p> <p>Learning Curves 4</p> <p>EMG 3D Kinematics 3D Kinetics Instrumental & Experimental Error Gait Analysis Shoulder Analysis Lab Research Docs</p> <p>Lab Contacts 5</p> <p>Ricardo Matias ...</p>	<p>PhD Students 6</p> <p>Rodrigo Martins Ana Antunes Cristina Santos</p> <p>Lab Trainees 7</p> <p>Current Florberto Silva</p> <p>Alumni Joana Rosa, João Magarreiro</p> <p>Master Students 8</p> <p>2013 Ana Antunes, Armindo Martins, Inês Filipe, José Marques, Gonçalo Ramos, Sara Cordeiro, Sérgio Neto, Vanessa Rodrigues.</p> <p>2014 Mario Valério.</p> <p>Lab Protocols 9</p> <p>Gait Protocol Shoulder Protocol Instrumented Treadmill</p>
--	---

Esta página foi modificada pela última vez à(s) 22h28min de 18 de dezembro de 2014.

Esta página foi acedida 811 vezes.

[Política de privacidade](#)
[Sobre a HumanMovementLabWiki](#)
[Exoneração de responsabilidade](#)




Figura 4.1 – Homepage da página Wiki do Laboratório de Movimento Humano.

1. Secção Templates

Nesta secção os elementos da equipa do Laboratório poderão encontrar, descarregar e adicionar diversos modelos pré-estabelecidos para a criação de *posters*, diapositivos de apresentações, artigos, relatórios, *abstracts* e outros de conteúdo científico. Esta secção permite aos utilizadores a orientação para criar conteúdos de forma rápida e sem a preocupação com a conceção da estrutura do documento.

2. Secção Bibliography and Citations

Esta secção disponibiliza aos utilizadores do Laboratório, ligações externas para um conjunto de sistemas para gestão de referências bibliográficas (ex.: CiteUlike, EndNote, Mendeley). Estes sistemas dão ainda a possibilidade aos utilizadores de recolherem, inserirem e citarem as referências bibliográficas no texto que estão a elaborar. Nesta secção os utilizadores podem ainda adicionar outros sistemas para gestão de referências bibliográficas ou simplesmente visualizar exemplos de como citar ou fazer o levantamento de uma fonte bibliográfica.

3. Secção How to interact with wiki

Devido ao fato do laboratório possuir diversos utilizadores, tornou-se de extrema importância a criação de uma secção onde todos os usuários possam encontrar um guia pormenorizado de como interagir com a linguagem Wiki. Dentro deste guia encontram-se instruções para os utilizadores seguirem no contexto de criação/edição de páginas, secções, texto, imagens e tabelas. Nesta secção, além deste guia de interação com a plataforma Wiki, os utilizadores tem ainda acesso a uma ligação, que remete para a página da MediaWiki, com conteúdo informativo acerca da formatação de texto e podem visualizar dois templates exemplificativos que dizem respeito à estrutura que a página Wiki do Laboratório pode tomar.

4. Secção Learning Curves

Esta secção da página Wiki refere-se às curvas de aprendizagem, essenciais para os utilizadores do Laboratório progredirem na aquisição de conhecimentos acerca das mais diversas áreas de estudos presentes no mesmo (ex.: EMG, Cinemática 3D, Cinética 3D, etc...). Além disso, nesta secção é possível depositar documentos imprescindíveis para as curvas de aprendizagem dos novos utilizadores que ingressam no laboratório, permitindo aos mesmos ter acesso aos documentos de apoio sempre que pretenderem e realizar o *download* destes sempre que desejarem, bastando para isso conectarem-se à internet.

5. Secção Lab Contacts

Através desta secção, os utilizadores do Laboratório, têm acesso aos contatos do corpo docente responsável pelo mesmo e através desta disponibilização de *e-mails* e contatos telefónicos, permitem que os elementos do Laboratório possam estar em contato permanente com os docentes de forma a esclarecerem dúvidas acerca das suas aprendizagens, resolverem problemas acerca dos seus estudos e planearem e projetarem projetos de carácter académico-científico.

6. Secção PhD Students

Devido ao fato do laboratório possuir diversos utilizadores, tornou-se de extrema importância a criação de uma secção relativa, aos estudantes, para cada um dos ciclos de estudos, desde a licenciatura até ao doutoramento, onde todos os usuários possam encontrar os contatos uns dos outros e assim estabelecer novas relações de trabalho.

Nesta secção os elementos da equipa do Laboratório poderão encontrar, o nome de cada um dos estudantes de Doutoramento que se encontram no mesmo a desenvolver as suas teses e a realizar os seus projetos e estudos científicos. O nome de cada um dos estudantes, possui um *link* interno que remete para uma página onde o aluno tem descrito um breve historial do seu percurso académico, bem como as suas áreas de estudo/interesse e os objetivos específicos a atingir durante o seu percurso no Laboratório.

7. Secção Lab Trainees

Nesta secção os elementos da equipa do Laboratório poderão encontrar, o nome de cada um dos estudantes que está a desenvolver o seu estágio curricular no Laboratório, nomeadamente alunos de licenciatura e mestrado. Além de desenvolverem as suas teses, os estudantes tem ainda a oportunidade de desenvolver diversos projetos de carácter científico que enriquecem os seus conhecimentos e o seu currículo académico. Tal como na secção anterior o nome de cada um dos estudantes, possui um *link* interno que remete para uma página onde o aluno tem descrito um breve historial do seu percurso académico, bem como as suas áreas de estudo/interesse e os objetivos

específicos a atingir durante o seu percurso no Laboratório.

8. Secção Master Students

Nesta secção os elementos da equipa do Laboratório poderão encontrar, o nome de cada um dos estudantes de Mestrado que se deslocam até ao Laboratório para desenvolver as diversas tarefas das suas teses e a realizar projetos e estudos científicos de relevância para as suas aprendizagens durante o Mestrado.

9. Secção Lab Protocols

Esta secção da página Wiki refere-se aos diversos protocolos compilados, e adaptados pelos utilizadores do Laboratório na recolha de dados cinemáticos do ombro e na recolha de dados cinemáticos e cinéticos da marcha. Este último é o resultado de todo o trabalho realizado durante o estágio de investigação, ou seja, neles os utilizadores do Laboratório poderão encontrar toda a informação das práticas laboratoriais recomendadas pela Sociedade Internacional de Biomecânica (ISB) e toda a informação retirada através das páginas Web, dos manuais, dos vídeos, dos documentos de apoio e dos tutoriais dos diversos fabricantes, que resultou na compilação de um protocolo destinado à recolha de dados da marcha para contexto laboratorial e ambulatorio. Nestes protocolos os diversos utilizadores poderão encontrar de forma pormenorizada todos os passos que devem seguir de forma a utilizar da maneira mais eficiente possível os instrumentos e os *softwares* presentes na recolha, na análise e no processamento de dados. Nesta secção os diversos utilizadores poderão ainda encontrar protocolos compilados com os passos específicos para a utilização de determinados equipamentos de análise do movimento humano.

10. Autenticação

Sendo a página Wiki do Laboratório uma ferramenta de escrita colaborativa *online*, a mesma possui obrigatoriamente uma área destinada à autenticação dos diversos utilizadores do Laboratório para que estes se possam registar e entrar na página, sempre que pretenderem, para assim terem a possibilidade de visualizarem o conteúdo informativo e realizarem a criação/edição de texto, secções, páginas, a partilha

de informação e conteúdo e o *download* de documentos de apoio para as curvas de aprendizagem. Esta autenticação realiza-se através da inserção de duas credenciais, o Nome de utilizador e a Palavra-chave correspondente ao mesmo. O administrador da página Wiki torna-se responsável por efetuar o registo dos elementos do Laboratório e fornecer a estes as duas credenciais de acesso à página.

11. Home

Seja qual for a secção ou página em que se encontram, ou o conteúdo ou informação que estão a visualizar ou a editar, os utilizadores têm a oportunidade de regressar sempre que desejarem à *homepage* da página Wiki do Laboratório, bastando para isso clicar neste botão e assim o mesmo apresenta a página inicial da Wiki.

12. Navegação

A secção Navegação é uma das duas secções que compõe a barra lateral da página Wiki do Laboratório. Este campo tem na sua composição diversas páginas, onde se destacam as seguintes: Página principal, dá a possibilidade dos utilizadores visualizarem e voltarem à *homepage* sempre que necessitarem seja qual for a secção, página ou conteúdo em que se encontram; Notícias, nesta página os utilizadores tem a oportunidade de criar/editar informação referente a algum acontecimento atual e de interesse para o Laboratório, bem como informar os utilizadores de acontecimentos atuais, datas e congressos de relevância cuja participação possa interessar aos diversos utilizadores; Mudanças recentes, nesta página os elementos da equipa do Laboratório podem acompanhar as mudanças mais recentes efetuadas na página Wiki; Ajuda, esta é a página de ajuda da Wiki e disponibiliza aos diversos utilizadores do Laboratório a possibilidade de encontrarem uma resposta para algo que procuram ou desejam ver esclarecido ou ainda encontrarem uma explicação que facilite a utilização de determinados recursos da página Wiki do Laboratório.

13. Ferramentas

A secção Ferramentas é a outra secção que, juntamente com a secção Navegação compõe a barra lateral da página Wiki do Laboratório. Este campo tem na

sua composição diversas páginas, onde se destacam as seguintes: Carregar ficheiro, nesta página, os utilizadores registados na Wiki têm a oportunidade de carregar diversos tipos ficheiros (ex.: png, gif, jpg, doc, xls, pdf, ppt, etc...) que ficarão registados numa página de registos de *uploads*. Após o carregamento do respetivo ficheiro e de forma a utilizar esse ficheiro numa determinada página, os utilizadores podem inserir um *link* desse ficheiro através de um dos diferentes formatos apresentados nesta página da secção Ferramentas; Páginas especiais, esta página encontra-se dividida em várias secções referentes às propriedades da página Wiki (ex.: lista de páginas, relatórios de manutenção da página, registos mais recentes, etc...), aos ficheiros carregados para as diferentes páginas da Wiki (Lista e carregamento de ficheiros), aos dados e ferramentas da Wiki e das suas páginas e ainda uma secção referente aos utilizadores, onde é possível visualizar-se a lista completa de utilizadores da página Wiki do Laboratório e onde estes tem a oportunidade de editar as suas palavras passas e os seus dados dos perfis; Informações da página, nesta página os utilizadores registados têm a hipótese de visualizar as informações básicas referentes à página Wiki, tal como esta se encontra protegida e o historial das edições realizadas na mesma.

14. Botões

O visitante da página Wiki do Laboratório terá acesso a vários botões que se encontram no topo da página principal, entre estes encontram-se botões referentes à visualização do código por detrás do texto inserido, e um botão referente ao historial da página visualizada, ou seja, ao clicar neste botão têm-se acesso às edições anteriores da página. Após a autenticação do utilizador ambos os botões serão substituídos por um menu suspenso com a opção de mover a página onde se encontra para outro local ou adicionar a página à lista de páginas vigiadas e por um botão Editar, dando a hipótese ao usuário de ao clicar no mesmo, poder editar a página onde se encontra. No topo da página encontra-se ainda uma barra de pesquisa onde o visitante ou o utilizador poderão digitar um texto ou o nome de uma página e de seguida clicar na opção pesquisar e a Wiki apresentará a página com esse título, se existir, ou as páginas onde esse texto se encontra inserido.

4.2. Protocolos compilados

São diversos os fabricantes que propõe e disponibilizam através das suas ferramentas de escrita colaborativa *online*, ou seja Wikis, ou dos seus manuais de utilizadores, ou dos seus documentos de apoio ou ainda através de vídeos explicativos, protocolos para recolha, análise e processamento de dados cinemáticos e cinéticos da marcha. Alguns destes conteúdos encontram-se em português mas a maior parte dos mesmos ainda são disponibilizados em inglês. Nestes protocolos é possível encontrar-se de forma bem estruturada, bem organizada, com esquemas e imagens ilustrativas e de forma o mais detalhada possível, todos os passos que devem ser cumpridos de maneira a contribuir para uma recolha, análise e processamento de dados com o maior rigor e precisão possível.

O Laboratório apesar de já ter adaptado algumas destas etapas ainda não possuía até ao início deste trabalho a totalidade dos procedimentos uniformizados, o que quer isto dizer que, em algumas destas fases e etapas cada um dos utilizadores tinha uma forma diferente de realizar a tarefa o que poderia originar erros na aquisição e/ou no processamento de dados.

De forma a uniformizar todas as fases da aquisição e tratamento dos dados definiu-se que para uma recolha precisa e um processamento de dados rigoroso seria necessário recorrer-se à realização de um protocolo que deveria ser baseado em outros já construídos, ou seja, pretendeu-se não construir um protocolo de raiz mas construir um protocolo através do levantamento, recolha e compilação de partes de outros documentos já existentes com recurso aos *sites*, páginas Wikis e manuais de utilizador das empresas C-Motion Research Biomechanics, Bertec e Xsens. Esta necessidade prende-se também com o fato de todos os utilizadores do Laboratório terem à sua disposição, sempre que precisarem, a totalidade das etapas e procedimentos da recolha, análise e processamento dos dados de forma standardizada para que assim todos os utilizadores do Laboratório possam fazer uso do mesmo documento e dessa maneira obter um processo com a maior taxa de fidedignidade possível.

A produção da compilação teve ênfase numa primeira parte no levantamento da informação existente das práticas laboratoriais, nos sítios oficiais dos diversos fabricantes bem como nas páginas Wikis, manuais de utilizador e tutoriais.

Posteriormente dividiu-se essa informação para a fase de recolha de dados 3D cinemáticos e cinéticos e para a fase de processamento de dados através do *software* *Visual 3D* e subdividiu-se essas duas fases em várias fases de forma a ser mais fácil a consulta do documento, uma vez que a página Wiki, onde constam os protocolos compilados, permite a criação de índices com *links* internos, o que permite ao utilizador aceder de forma rápida e facilitada a determinada etapa, clicando sobre a mesma e visualizar de imediato essa mesma subfase.

Para a fase de recolha de dados 3D cinemáticos da marcha em contexto laboratorial, recorreu-se aos tutoriais presentes na página Wiki do *site* da C-Motion Research Biomechanics [74], que pode ser visualizada na figura 4.2, de forma a extrair a informação relevante para as etapas desta fase e assim ser possível traduzir, editar e adaptar a mesma para a página do protocolo na Wiki do Laboratório. A C-Motion Research Biomechanics [75], empresa líder do mercado de *software* em biomecânica de investigação para o processamento de dados de aquisição do movimento, disponibiliza através do seu *site*, uma página Wiki com uma vasta documentação onde o utilizador tem ao seu dispor vários tutoriais com instruções detalhadas tendo em vista a correta utilização dos *software* comercializados por esta empresa.

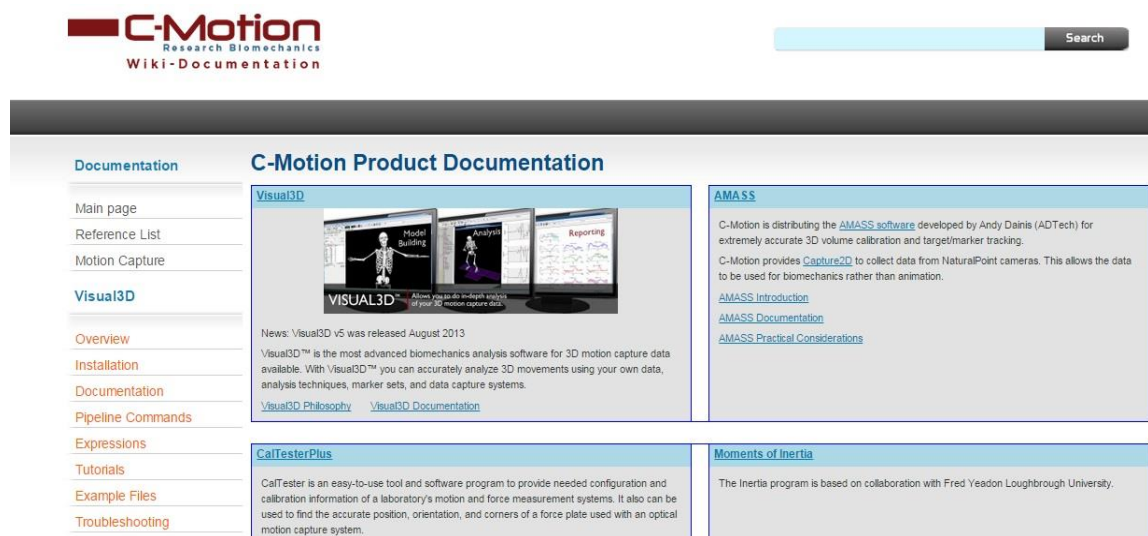


Figura 4.2 – Documentação Wiki da empresa C-Motion onde estão presentes os tutoriais (adaptado de [74]).

Para a fase de recolha de dados 3D cinéticos da marcha em contexto laboratorial, recorreu-se aos manuais de utilizador presentes no *site* da Bertec [76] e que

podem ser observados na figura 4.3, de forma a extrair a informação relevante para as etapas desta fase e assim ser possível traduzir, editar e adaptar a mesma para a página do protocolo na Wiki do Laboratório. A Bertec [77], empresa especializada no fabrico e venda de equipamentos de análise da marcha e avaliação do treino, equilíbrio e performance desportiva, e líder em tecnologia de medição da força para estudo na biomecânica, disponibiliza através do seu *site*, uma vasta documentação onde o utilizador tem ao seu dispor vários manuais de utilizador com instruções detalhadas tendo em vista a correta utilização dos equipamentos e *software* comercializados por esta empresa.

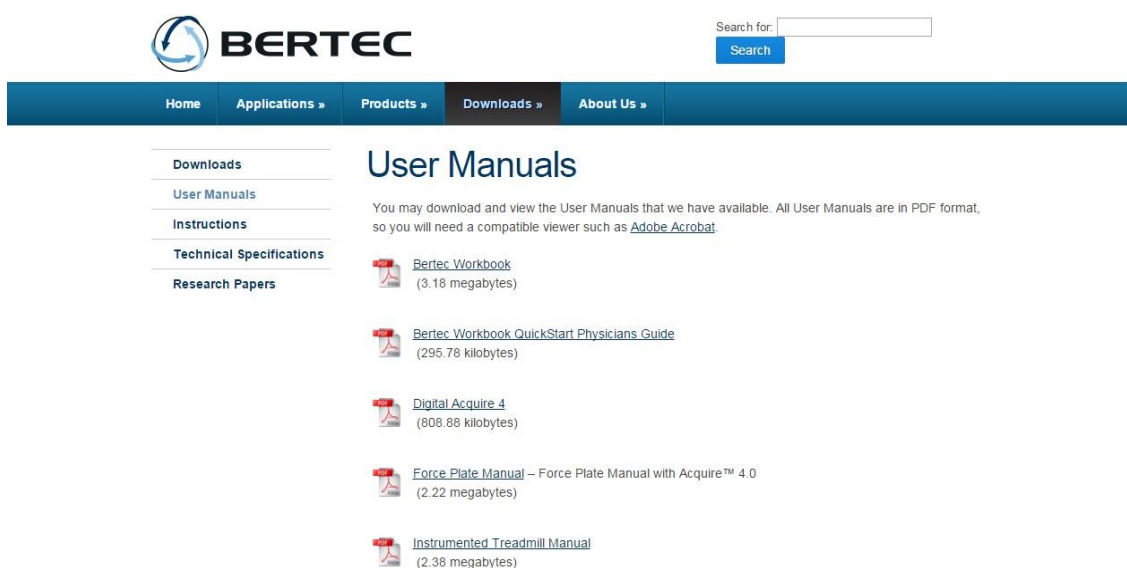


Figura 4.3 – Manuais de utilizador disponibilizados pela empresa Bertec (adaptado de [76]).

Para a fase de recolha de dados 3D cinemáticos da marcha em contexto ambulatorio, recorreu-se a vídeos tutoriais e manuais de utilizador presentes no *site* da empresa Xsens [78] que estão ilustrados na figura 4.4, e ainda nos *software* disponibilizados por estes, de forma a extrair a informação relevante para as etapas desta fase e assim ser possível traduzir, editar e adaptar essa mesma informação para a página do protocolo na Wiki do Laboratório. A Xsens [79], empresa líder no fabrico e comercialização de produtos inovadores em tecnologia de aquisição de movimento 3D, direciona as suas matrizes de conceção e venda para três tipos de áreas distintas, Módulos de sensores inerciais (acelerómetros, giroscópios e magnetómetros), Medição do movimento humano e Animação 3D. A empresa Xsens disponibiliza através do seu

site, uma vasta documentação onde o utilizador tem ao seu dispor uma série de vídeos tutoriais e diversos manuais de utilizador com instruções detalhadas tendo em vista a correta utilização dos equipamentos e *software* comercializados por esta empresa.

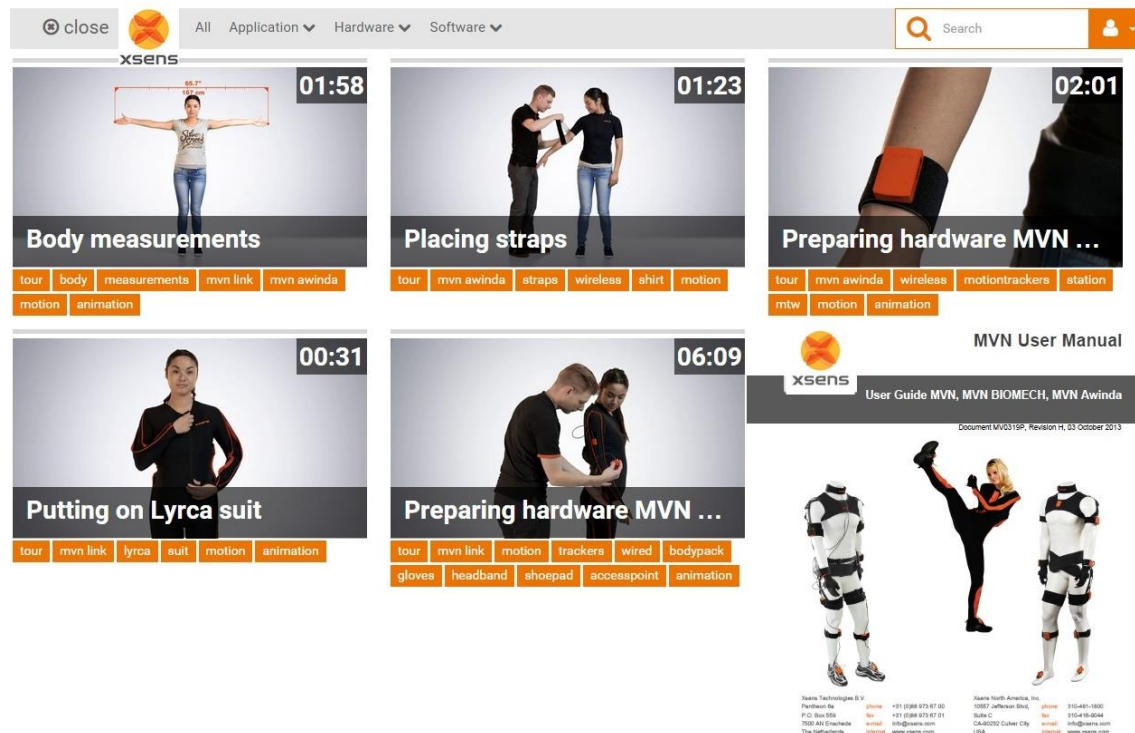


Figura 4.4 – Vídeos tutoriais e manual de utilizador fornecido pela Xsens (adaptado de [71, 78]).

A fase de processamento de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha em contexto laboratorial e ambulatorio, foi realizada através do uso do *software Visual 3D* e recorreu-se aos tutoriais presentes na página Wiki do site da C-Motion Research Biomechanics, de forma a extrair a informação relevante para as etapas de funcionamento com este *software* e assim ser possível traduzir e editar a mesma para a página do protocolo na Wiki do Laboratório.


A partir de todo o levantamento, em tutoriais, manuais, vídeos, páginas Wikis e documentos de apoio fornecidos pelos fabricantes, com informação relevante foi possível efetuar-se a organização, tradução e edição da mesma de forma a realizar-se uma compilação de todos os procedimentos imprescindíveis para recolha e processamento de dados cinemáticos e cinéticos da marcha em contexto laboratorial (Figura 4.5), posteriormente adaptado para contexto ambulatorio (Figura 4.6), que

resultou num protocolo com todos os processos sistematizados e estandardizados, em ambos os contextos. Os protocolos, contendo a totalidade destes processos, são propriedade confidencial e intrínseca ao Laboratório, podendo única e exclusivamente os membros da equipa multidisciplinar ter acesso e usar sempre que desejarem, a informação contida nestes protocolos, bastando para isso efetuarem o registo na página Wiki do Laboratório, acederem à Secção Protocols e explorarem a totalidade das fases através dos *links* internos de cada uma delas.

The screenshot displays the HML Wiki interface. On the left, a sidebar provides navigation options under 'Navegação' (e.g., 'Página principal', 'Portal comunitário') and 'Ferramentas' (e.g., 'Páginas afluentes', 'Alterações relacionadas'). The main content area is titled 'Gait Protocol - Cameras System - New' and features an 'Índice [esconder]' section. This section contains a hierarchical list of protocol phases:

- 1 Protocolo de recolha e processamento de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha em regime laboratorial
 - 1.1 Fases de recolha de dados 3D cinemáticos e cinéticos
 - 1.1.1 Ligação dos Hubs e dos cabos USB (câmaras) ao computador
 - 1.1.2 Conexão do sistema de câmaras através do software Acquire 3D
 - 1.1.3 Colocação do L-Frame
 - 1.1.4 Configuração do sistema de câmaras
 - 1.1.5 Configuração dos ficheiros de recolha
 - 1.1.6 Realização da fase de calibração
 - 1.1.7 Elaboração do relatório de calibração
 - 1.1.8 Colocação do set-up de marcas e clusters no indivíduo
 - 1.1.9 Ligação e colocação a zero dos amplificadores das plataformas de força
 - 1.1.10 Conexão e colocação a zero das plataformas de força
 - 1.1.11 Realização da recolha estática
 - 1.1.12 Realização da recolha dinâmica
 - 1.1.13 Identificação do set-up de marcas e clusters no software AMASS
 - 1.1.14 Junção dos ficheiros cinéticos e cinemáticos no software C3D Merge
 - 1.1.15 Construção do modelo convencional da marcha através do software Visual 3D
 - 1.1.16 Visualização do ficheiro dinâmico da recolha de dados
 - 1.2 Fases de processamento através do software Visual 3D
 - 1.2.1 Tutorial de construção de Pipelines (comandos automatizados) através do software Visual 3D - Exemplo de Aplicação_1
 - 1.2.2 Tutorial de construção de Pipelines (comandos automatizados) através do software Visual 3D - Exemplo de Aplicação_2
 - 1.2.3 Tutorial de Construção de Relatórios através do Software Visual 3D
 - 1.2.4 Tutorial de Construção de Dados Normativos através do Software Visual 3D

Figura 4.5 – Índice do protocolo compilado para o contexto laboratorial constituído por *links* internos para acesso à informação de cada fase do protocolo.



Autenticação

[Página](#)
[Discussão](#)
[Ler](#)
[Ver código-fonte](#)
[Ver histórico](#)

Gait Protocol - Xsens MVN System - New

Índice [esconder]

- 1 Protocolo de recolha e processamento de dados 3D cinemáticos e cinéticos da marcha em regime ambulatório
 - 1.1 Fases de recolha de dados 3D cinemáticos
 - 1.1.1 Conectar a pen de inicialização do software MVN Studio Pro ao computador
 - 1.1.2 Conexão dos recetores de sinal sem fios ao computador
 - 1.1.3 Ligação da câmara de vídeo MVN
 - 1.1.4 Medições antropométricas e registo correspondente na folha de registos
 - 1.1.5 Colocação do conjunto (tiras de velcro com os sensores acoplados) no sujeito
 - 1.1.6 Ligação dos dispositivos Xbus Masters
 - 1.1.7 Criação de uma nova sessão no software MVN Studio Pro
 - 1.1.8 Registrar as medições antropométricas e as medições dos sensores às eminências ósseas no software MVN Studio Pro
 - 1.1.9 Realização da fase de calibração
 - 1.1.10 Pré-visualização e recolha dos dados
 - 1.1.11 Exportação dos dados
 - 1.1.12 Construção do modelo convencional da marcha através do software Visual 3D
 - 1.1.13 Visualização do ficheiro dinâmico da recolha de dados
 - 1.2 Fases de processamento através do software Visual 3D
 - 1.2.1 Tutorial de construção de Pipelines (comandos automatizados) através do software Visual 3D - Exemplo de Aplicação_1
 - 1.2.2 Tutorial de construção de Pipelines (comandos automatizados) através do software Visual 3D - Exemplo de Aplicação_2
 - 1.2.3 Tutorial de Construção de Relatórios através do Software Visual 3D
 - 1.2.4 Tutorial de Construção de Dados Normativos através do Software Visual 3D

Figura 4.6 – Índice do protocolo compilado para o contexto ambulatório constituído por *links* internos para acesso à informação de cada fase do protocolo.

Capítulo 5

5. Discussão dos Resultados

Com este trabalho pretendemos desenvolver uma compilação do protocolo para recolha e processamento de dados cinemáticos 3D e cinéticos 3D da marcha e uma plataforma Wiki para a sistematização dos procedimentos experimentais e laboratoriais

Alguns dos fabricantes que comercializam equipamentos e *software* presentes no Laboratório, disponibilizam nos seus sites diversos protocolos em inglês, que são autênticos manuais de utilizador, que servem para esclarecimento de dúvidas ou auxílio em determinadas etapas da análise ou processamento de dados da marcha, mais propriamente na familiarização e manuseio dos *software*. Embora a maioria destes manuais estejam disponíveis em inglês, para a compilação deste protocolo houve a necessidade de fazer a tradução das partes de interesse dos mesmos para português e adicionar de raiz outras partes de grande relevância para o protocolo, descritas pelo autor deste trabalho. Contudo, foi identificado que o laboratório carecia de uma plataforma onde toda a informação fosse compilada em português de forma a facilitar os procedimentos e a curva de aprendizagem de quem se inicia no Laboratório de Movimento Humano.

O desenvolvimento do protocolo numa página Wiki foi o formato escolhido uma vez que a sua utilização é livre de custos, utiliza uma linguagem de programação de rápida compreensão, permite a atualização da informação de forma bastante fácil, rápida e segura, permite anexar documentos relevantes para o protocolo, possibilita a navegação nos vários tópicos do documento, através de *links* internos e permite o carregamento e arquivo de ficheiros multimédia tornando-se assim o formato vantajoso para o desenvolvimento do protocolo, tal como era esperado no início deste trabalho.

Pretendeu-se que o protocolo não fosse apenas um documento escrito em formato normal mas que se torna-se em algo inovador e atual, que fosse fácil de atualizar e consultar e que possui-se uma interação cativante para com o leitor do mesmo. Apesar deste protocolo ter sido desenvolvido com base na informação das práticas laboratoriais e na informação disponibilizada nos protocolos nos sites dos

fabricantes, mais propriamente, C-Motion Research Biomechanics, Bertec e Xsens Technologies, o que se pretendeu fazer foi compilar um protocolo adaptado às necessidades e práticas do laboratório, totalmente escrito em português; contendo toda a informação centralizada e necessária para a realização das diversas etapas da recolha, da análise e do processamento dos dados da marcha; com dados previamente recolhidos para as primeiras fases de aprendizagem; enriquecido com ligações para documentos e artigos científicos de apoio e com imagens bem ilustrativas e esquematizadas referentes às fases que o utilizador deste protocolo deverá seguir.

Face à gradual procura de estágios e projetos de investigação que o Laboratório tem tido e de forma a minimizar os erros experimentais e laboratoriais conhecidos, a contribuição de todo o trabalho do processo de compilação do protocolo serviu para que a utilização do mesmo seja extremamente útil e recomendada uma vez que além de responder a essas duas premissas é também uma importante ferramenta na curva de conhecimentos e noções referentes aos equipamentos utilizados na análise da marcha em contexto laboratorial e ambulatorio, permite ao seu utilizador uma aprendizagem autónoma, experimental, sem ser necessário o permanente contacto com o docente, sem descurar claro, em caso de dúvida permanente o esclarecimento de dúvidas junto do corpo docente responsável pelo Laboratório.

Ao longo da compilação e desenvolvimento do protocolo e respetiva implementação do mesmo na página Wiki do Laboratório, desenvolveram-se, como de esperado, aptidões, capacidades e competências que fizeram parte da curva de aprendizagem durante o estágio de investigação curricular e que são descritas de seguida: Obtenção de conhecimentos e aptidões no âmbito da programação Wiki; Aquisição de conhecimentos e competências no âmbito da utilização de sistemas de aquisição de dados cinemáticos e cinéticos em contexto laboratorial, sistema de tecnologia ótica e plataformas de força e em contexto ambulatorial, sistema de tecnologia inercial; Adaptação do protocolo ao sistema de análise de marcha em regime laboratorial e ambulatorio; Capacidade para selecionar e implementar, de forma justificada e assertiva, soluções de análise cinemática 3D e cinética 3D em contextos de análise da marcha humana em vertente laboratorial e ambulatoria; Obtenção de conhecimentos e competências no âmbito da utilização dos *software* de aquisição de dados da marcha; Capacidade para implementar através das ferramentas do *software Visual 3D* um conjunto de comandos utilizados para o processamento de dados da

marcha o que, tal como esperado num dos objetivos deste trabalho, otimiza e rentabiliza de forma esperada essa etapa.

Capítulo 6

6. Conclusão

Desenvolveu-se neste estágio de investigação a compilação de um protocolo, com alicerces em informação recolhida em distintos protocolos já existentes, manuais de utilizadores e documentos característicos disponibilizados pelos diversos fabricantes, que comercializam os equipamentos de análise do movimento humano presentes no laboratório, fazendo com que dessa compilação resulta-se um protocolo contendo a totalidade das fases de recolha e de processamento dos dados cinemáticos e cinéticos da marcha humana em regime laboratorial e em regime ambulatorio.

Em função das necessidades do Laboratório, tendo em conta o número considerável de elementos que este possui na sua equipa, a importância na organização da informação para que todos os seus utilizadores possam ter acesso à mesma quando pretenderem e em qualquer altura, pretendeu-se implementar uma plataforma de escrita colaborativa *online* que preenchesse os pressupostos do Laboratório e onde fosse possível a todos os elementos, aceder, visualizar, explorar e editar o protocolo compilado e todo o conteúdo presente na plataforma.

Além de colmatar as necessidades em cima referidas, pretendeu-se de igual forma que a plataforma Wiki do Laboratório permitisse a todos os elementos, adicionar ou editar informação/conteúdo de forma colaborativa, carregar diferentes formatos de ficheiro e fosse possível depositar documentos de extrema importância para as curvas de aprendizagem dos novos utilizadores que ingressam no Laboratório, possibilitando aos mesmos ter acesso aos documentos de apoio sempre que pretenderem e realizarem o *download* destes sempre que desejarem, bastando para isso ligarem-se à internet.

Outras das conclusões que podem ser retiradas do trabalho realizado e que resultaram em objetivos alcançados estão relacionadas com o fato de terem sido desenvolvidas capacidades, de seleção de soluções de análise cinemática e cinética, ajustadas e justificadas, dependentemente do contexto da análise da marcha, tal como o surgimento de capacidades para executar ferramentas no *software Visual 3D* no que diz respeito ao processamento de dados.

Embora o volume de utilização deste protocolo ainda não tenha atingido proporções elevadas, a pertinência do seu uso na vertente de aprendizagem e de automatização na recolha, na análise e no processamento de dados no *software Visual 3D* tem um progresso bastante acrescido devido ao fato dos novos utilizadores que possam ingressar no Laboratório nesta área de estudos tenham à sua disposição um documento que lhes permita uma fácil familiarização com os equipamentos de análise de marcha presentes no laboratório e uma consciencialização do grau de importância destas tecnologias como ferramentas valiosas na avaliação, diagnóstico e validação de planos de reabilitação em indivíduos com ineficiente locomoção.

Através da utilização sistemática deste protocolo, por parte dos utilizadores do Laboratório é esperado que a fonte de erro experimental que diversas vezes abrange a recolha e análise de dados seja reduzida substancialmente.

6.1. Trabalhos Futuros

Ao longo deste trabalho surgiram alguns aspetos que seriam interessantes serem melhorados em trabalhos futuros.

No que diz respeito aos protocolos compilados, os mesmos podem ser aperfeiçoados através da adição de vídeos tutoriais nas várias fases dos processo e através da avaliação objetiva da usabilidade da estrutura proposta tal como os procedimentos que se encontram sistematizados e estandardizados e o seu contínuo teste por parte dos membros da equipa multidisciplinar e corpo docente do Laboratório.

Relativamente à plataforma Wiki do Laboratório a mesma poderá ser melhorada através de toda a partilha e adição de documentos, conhecimentos, informação, aptidões e competências próprias e diferenciadas de cada um dos elementos do Laboratório e a oportunidade de toda a equipa interagir entre si para a colaboração de escrita de artigos, trabalhos e documentos científicos e de relevo para o Laboratório. A plataforma Wiki do Laboratório pode ainda ser melhorada através do aperfeiçoamento das secções existentes e da devida criação de novas secções destinadas, por exemplo, à divulgação de eventos científicos de interesse para os elementos do Laboratório e de notícias relacionadas com os mais variados campos de estudos do Laboratório e ainda a criação

de novas secções com características intrínsecas para determinada tarefa ou armazenamento de documentos, ficheiros e informação.

6.2. Publicações Científicas

Artigos de Conferência

Matias, R., Martins, R., **Magarreiro, J.**, Gomes, A., Cavaco, C., Gamboa, H. A Reliable Classification System for Neuromusculoskeletal Gait Disorders. 2014. *In* Proceedings of the 1st Clinical Movement Analysis Conference. SIAMOC. ESMAC, Italy.

Apresentação Oral

Matias, R., Martins, R., **Magarreiro, J.**, Gomes, A., Cavaco, C., Gamboa, H. A Reliable Classification System for Neuromusculoskeletal Gait Disorders. 2014. *In* Proceedings of the 1st Clinical Movement Analysis Conference. SIAMOC. ESMAC, Italy.

Magarreiro, J., Análise cinemática tridimensional em contexto clínico. 2014. Ciclo de Debates do Instituto Politécnico de Setúbal, Setúbal.

Bibliografia

- [1] A. F. M. L. da Silva, “WaaS : Wiki as a Service,” Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [2] M. Barroso e C. Coutinho, “Utilização de uma ferramenta de escrita colaborativa na disciplina de Ciências Naturais : Uma experiência com alunos do 8º ano de escolaridade,” pp. 1–6, 2008.
- [3] M. V. Martins, “Análise do movimento humano,” Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Portalegre, Portalegre, 2009.
- [4] J. P. Vilas-boas, “Biomecânica hoje: enquadramento, perspectivas didáticas e facilidades laboratoriais,” *Revista Portuguesa de Ciências do Desporto*, vol. 1, no. 1, pp. 48–56, 2001.
- [5] A. C. Amadio e J. C. Serrão, “Contextualização da biomecânica para a investigação do movimento : fundamentos , métodos e aplicações para análise da técnica esportiva,” *Revista Brasileira de Educação Física e Esporte*, vol. 21, pp. 61–85, 2007.
- [6] M. T. Silva, A. Pereira, J. Martins, e M. Carvalho, “Implementation of an efficient muscle fatigue model in the framework of multibody systems dynamics for analysis of human movements,” *Proc. Inst. Mech. Eng. Part K J. Multi-body Dyn.*, vol. 225, no. 4, pp. 359–370, 2011.
- [7] A. Completo e F. Fonseca, *Fundamentos de Biomecânica Músculo-Esquelética e Ortopédica*, Publindústria, 2011.
- [8] A. C. Amadio e M. Duarte, “Fundamentos biomecânicos para a análise do movimento,” vol. 1. Laboratório de Biomecânica da Escola de Educação Física e Esporte da Universidade de São Paulo, São Paulo, p. 162, 1996.
- [9] S. I. L. Melo e S. G. dos Santos, “Antropometria em Biomecânica: Características, Pincípios e Modelos Antropométricos,” *Revista Brasileira de Cineantropometria & Desempenho Humano*, vol. 2, no. 1, pp. 97–105, 2000.
- [10] V. Medved, *Measurement of Human Locomotion*, C. Press, 2000.

- [11] H. Schepers, “Ambulatory assessment of human body kinematics and kinetics,” University of Twente, 2009.
- [12] B. M. Nigg e W. Herzog, *Biomechanics of the Musculo-skeletal System*, 3rd ed. 2007.
- [13] C. G. Analysis, “History of the Study of Locomotion.” [Online]. Available: <http://www.clinicalgaitanalysis.com/history/enlightenment.html>. [Accessed: 11-Sep-2014].
- [14] S. Pinto, “A marcha humana em análise,” Instituto de Medicina Molecular da Faculdade de Medicina da Universidade de Lisboa, 2007.
- [15] M. Silva, “Contributos históricos,” Instituto Superior Técnico, Lisboa, 2004.
- [16] A. Gafaniz, G. Lopes, e P. Pires, “Análise Cinemática Da Marcha.” Instituto Superior Técnico, Lisboa, pp. 1–14, 2005.
- [17] R. Baker, “The history of gait analysis before the advent of modern computers,” *Gait Posture*, vol. 26, no. 3, pp. 331–342, 2007.
- [18] D. Roetenberg, “Inertial and Magnetic Sensing of Human Motion,” University of Twente, 2006.
- [19] T. W. Lu e C. F. Chang, “Biomechanics of human movement and its clinical applications,” *Kaohsiung J. Med. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. S13–S25, 2012.
- [20] C. Norkin e K. Levangie, *Joint structure and function. A comprehensive analysis*, 2nd ed. EUA: Library of Congress, 1992.
- [21] J. Perry, *Gait Analysis: Normal and Pathological Function*. USA: SLACK Incorporated, 1992.
- [22] D. Winter, *Biomechanics and motor control of human movement*, 4th ed. John Wiley & Sons, 2009.
- [23] R. Matias e H. Gamboa, “Avaliação do Movimento e Função Humana: Análise cinemática tridimensional e Electromiografia,” *ESSFISIONLINE*, vol. 1, no. 3, pp. 38–51, 2005.
- [24] R. Davis, S. Ounpuu, D. Tyburski, e J. Gage, “A gait analysis data collection and reduction technique,” *Hum. Mov. Sci.*, vol. 19, pp. 575–587, 1991.
- [25] J. Richards, *Biomechanics in clinic and research*. Elsevier, 2008.

- [26] M. Whittle, "Clinical gait analysis: A review," *Hum. Mov. Sci.*, vol. 15, no. 3, pp. 369–387, 1996.
- [27] D. A. Winter, *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, 4th ed. Wiley, 2009.
- [28] D. S. S. Sousa, J. M. R. S. Tavares, e M. V. Correia, "Análise Clínica da Marcha: Exemplo de Aplicação em Laboratório de Movimento," in *2º Encontro Nacional de Biomecânica*, 2007.
- [29] H. Zhou e H. Hu, "Human motion tracking for rehabilitation-A survey," *Biomed. Signal Process. Control*, vol. 3, pp. 1–18, 2008.
- [30] F. I. Sheikh, "Real-time human arm motion translation for the WorkPartner Robot," Lulea University of Technology, 2008.
- [31] A. C. Amadio, P. H. L. da Costa, I. C. N. Sacco, J. C. Serrão, R. C. Araujo, L. Mochizuki, e M. Duarte, "Introdução à análise do movimento humano - descrição e aplicação dos métodos de medição," *Revista Brasileira de Fisioterapia*, vol. 3, pp. 41–54, 2009.
- [32] L. Munderman, S. Corazza, e P. Andreiacchi, "The Evolution Methods for the Capture of Human Movement Leading to Markerless Motion Capture for Biomechanical Applications," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 3, no. 6, 2006.
- [33] A. King e D. Paulson, "Motion Capture Moves into New Realms," *Computer (Long. Beach. Calif.)*, vol. 40, no. 9, pp. 13–16, 2007.
- [34] R. Baker, "Gait analysis methods in rehabilitation," *J. Neuroeng. Rehabil.*, vol. 3, no. 4, pp. 1–10, 2006.
- [35] H. J. Luinge, "Inertial Sensing of Human Movement," University of Twente, 2002.
- [36] T. Cloete, "Benchmarking full-body inertial motion capture for clinical gait analysis," Stellenbosch University, 2009.
- [37] N. R. L. Silva, "Sistema Inercial Diferencial para Plataformas Multi-Corpo Dinâmicas," Universidade de Aveiro, 2011.
- [38] S. Fux, "Development of a planar low cost Inertial Measurement Unit for UAVs and MAVs," Institute of Technology Zurich, 2008.

- [39] A. Lawrence, *Modern Inertial Technology Navigation, Guidance and Control*, 2nd ed. Springer, 1998.
- [40] F. Porto, J. Gurgel, T. Russomano, L. Castro, F. Falcão, e H. Hertz, “CONSTRUÇÃO E CALIBRAÇÃO DE UM ACELERÔMETRO TRIAXIAL DE BAIXO CUSTO PARA ANÁLISE BIOMECÂNICA DO MOVIMENTO HUMANO,” Edição Especial da Revista Brasileira de Ciência e Movimento, São Paulo, p. 250, 2004.
- [41] A. Koontz, J. McCrory, R. Cham, Y. Yang, e M. Wilkinson, “Rehabilitation Biomechanics,” *Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering*. pp. 2987–3006, 2006.
- [42] Y. Bruxel, “Sistema para análise de impacto na marcha humana,” Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.
- [43] A. F. N. Gomes, “Metodologias e Sistemas Activos Baseados em Fusão Sensorial para Análise do Movimento - Aplicações em Biomecânica.” p. 165, 2012.
- [44] D. Muniz e M. Andrade, “Análise Biomecânica das Fases da Marcha por Acelerómetros,” 2011. [Online]. Available: <http://files.profricardo2.webnode.pt/200000221-640e9650a0/Analise da marcha por acelerometria Muniz e Andrade.pdf>. [Accessed: 17-Oct-2014].
- [45] G. Fernandez, H. Neto, e R. Irita, “Dispositivo para Análise Articular do Ombro Gerenciado por Software,” 2006. [Online]. Available: <http://www.sbis.org.br/cbis11/arquivos/679.pdf>. [Accessed: 17-Oct-2014].
- [46] A. Godfrey, R. Conway, D. Meagher, e G. ÓLaighin, “Direct measurement of human movement by accelerometry,” *Med. Eng. Phys.*, vol. 30, no. 10, pp. 1364–1386, 2008.
- [47] X. Technologies, “Unidade de medição inercial Xsens.” [Online]. Available: <http://br.xsens.com/companhia/topicos-da-industria/sensores-inerciais.php>. [Accessed: 17-Oct-2014].
- [48] C. P. de F. M. Barbosa, “Modelação biomecânica do corpo humano : aplicação na análise da marcha,” Escola de Engenharia da Universidade do Minho, 2011.
- [49] A. Barela e M. Duarte, “Utilização da plataforma de força para aquisição de dados cinéticos durante a marcha humana,” *Braz J Mot Behav*, vol. 6, no. 1, pp. 56–61, 2011.

- [50] M. N. Orlin e T. G. McPoil, "Plantar pressure assessment," *Phys. Ther.*, vol. 80, no. 4, pp. 399–409, 2000.
- [51] D. Sousa, "Seguimento do Movimento Humano Usando Visão Computacional – Aplicação na Análise da Marcha," Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [52] L. Chiari, U. Della Croce, A. Leardini, e A. Cappozzo, "Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part 2: Instrumental errors," *Gait Posture*, vol. 21, pp. 197–211, 2005.
- [53] A. Leardini, A. Chiari, U. Della Croce, e A. Cappozzo, "Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 3. Soft tissue artifact assessment and compensation," *Gait Posture*, vol. 21, pp. 212–225, 2005.
- [54] U. Della Croce, A. Leardini, L. Chiari, e A. Cappozzo, "Human movement analysis using stereophotogrammetry Part 4: Assessment of anatomical landmark misplacement and its effects on joint kinematics," *Gait Posture*, vol. 21, pp. 226–237, 2005.
- [55] A. Cappozzo, F. Catani, U. Della Croce, e A. Leardini, "Position and orientation in space of bones during movement: Anatomical frame definition and determination," *Clin. Biomech.*, vol. 10, no. 4, pp. 171–178, 1995.
- [56] P. C. de A. Costa, "CONTRIBUTO DO WIKI NO DESENVOLVIMENTO DE COMPETÊNCIAS EM ALUNOS DO 6º ANO DE ESCOLARIDADE : UM ESTUDO NAS AULAS DE CIÊNCIAS," Universidade de Lisboa, 2014.
- [57] J. Costa, "Ferramentas de Escrita Colaborativa da Web 2.0 e Mediação Pedagógica por Computador: Construção e Ressignificação do Conhecimento on-line," *Simpósio Internacional de Educação a Distância*, pp. 1–12, 2012.
- [58] M. Lemos, I. Guedes, T. Gomes, e A. Coelho, "Google Docs - Aplicação de Trabalho Colaborativo." [Online]. Available: <http://pt.slideshare.net/Grupo5MCIE/google-docs-aprendizagem-colaborativa>. [Accessed: 17-Nov-2014].
- [59] Google, "Google Docs." [Online]. Available: <http://www.google.com/docs/about/>. [Accessed: 17-Nov-2014].

- [60] Professor TIC, “Editorially: escrever online a várias mãos.” [Online]. Available: <http://www.professortic.com/2013/11/editorially-escrever-online-varias-maos/>. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [61] Professor TIC, “Zoho - Trabalho colaborativo.” [Online]. Available: <http://www.professortic.com/2010/01/zoho-trabalho-colaborativo/>. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [62] MediaWiki, “Manual: Installation guide.” [Online]. Available: http://www.mediawiki.org/wiki/Manual:Installation_guide. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [63] MediaWiki, “Manual: What is MediaWiki?” [Online]. Available: http://www.mediawiki.org/wiki/Manual:What_is_MediaWiki%3F. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [64] MediaWiki, “Manual: Extensions.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Manual:Extensions>. [Accessed: 23-Nov-2014].
- [65] MediaWiki, “Extension:PdfHandler.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Extension:PdfHandler>. [Accessed: 24-Nov-2014].
- [66] MediaWiki, “Extension:UploadPDF.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Extension:UploadPDF>. [Accessed: 24-Nov-2014].
- [67] MediaWiki, “Extension:VideoPlayer.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Extension:VideoPlayer>. [Accessed: 24-Nov-2014].
- [68] MediaWiki, “Extension:PHPTemplates.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Extension:PHPTemplates>. [Accessed: 25-Nov-2014].
- [69] MediaWiki, “Extension:TranslatedPages.” [Online]. Available: <http://www.mediawiki.org/wiki/Extension:TranslatedPages>. [Accessed: 25-Nov-2014].
- [70] Natural Point, “Flex3.” [Online]. Available: <http://www.naturalpoint.com/optitrack/products/flex-3/specs.html>. [Accessed: 28-Nov-2014].
- [71] Xsens Technologies, MVN User Manual. Xsens Technologies, 2012, p. 133.
- [72] ICG Magazine, “The Avatar Effect.” [Online]. Available: <http://www.icgmagazine.com/wordpress/2010/04/07/the-avatar-effect/>. [Accessed: 28-Nov-2014].

- [73] D. Roetenberg, C. T. Baten, e P. H. Veltink, “Estimating body segment orientation by applying inertial and magnetic sensing near ferromagnetic materials,” *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.*, vol. 15, no. 3, pp. 469–471, 2007.
- [74] C-Motion Research Biomechanics, “C-Motion Product Documentation.” [Online]. Available: http://c-motion.com/v3dwiki/index.php?title=Main_Page. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [75] C-Motion Research Biomechanics, “C-Motion Research Biomechanics Homepage.” [Online]. Available: <http://www.c-motion.com/>. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [76] Bertec Corporation, “User Manuals.” [Online]. Available: <http://bertec.com/downloads/user-manuals/>. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [77] Bertec Corporation, “Bertec Corporation Homepage.” [Online]. Available: <http://bertec.com/>. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [78] Xsens Technologies, “Tutorial.” [Online]. Available: <https://tutorial.xsens.com/>. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [79] Xsens Technologies, “Xsens Homepage.” [Online]. Available: <https://www.xsens.com/>. [Accessed: 29-Nov-2014].
- [80] Xsens Technologies, “IMU Inertial Measurement Unit.” [Online]. Available: <https://www.xsens.com/tags/imu/?gclid=Cj0KEQIAz7OlBRDErsTx47LKz-8BEiQAY0OIYvdYVAwzHcsr3y2MYNn60JYsudXPYZidFuv3PaS0DygaAusI8P8HAQ>. [Accessed: 30-Nov-2014].
- [81] J. Cockcroft, “An evaluation of inertial motion capture technology for use in the analysis and optimization of road cycling kinematics,” Faculty of Engineering at University of Stellenbosch, 2011.
- [82] Natural Point, “Natural Point Homepage.” [Online]. Available: <http://www.naturalpoint.com/>. [Accessed: 29-Nov-2014].